

Aus dem Veterinärwissenschaftlichen Department der Tierärztlichen Fakultät der
Ludwig - Maximilians - Universität München

Arbeit angefertigt unter der Leitung von
Univ.-Prof. Dr. Ellen Kienzle

**Einfluss routinemäßiger Zahnbehandlungen bei
Pferden auf maximale Raufutteraufnahme, scheinbare
Futtermittelveaulichkeit und Kotpartikelgröße**

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung der tiermedizinischen Doktorwürde
der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig – Maximilians - Universität
München

von
Stefanie Zwirgmaier
aus Wasserburg am Inn

München 2013

Gedruckt mit der Genehmigung der Tierärztlichen Fakultät
der Ludwig – Maximilians - Universität München

Dekan: Univ.-Prof. Dr. Joachim Braun

Referent: Univ.-Prof. Dr. Ellen Kienzle

Korreferent: Univ.-Prof. Dr. Wolfgang Klee

Tag der Promotion: 09. Februar 2013

Xaver und Dominik

Meinen Eltern

Meinen Geschwistern

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	I
Abkürzungsverzeichnis.....	III
Abbildungsverzeichnis.....	V
Tabellenverzeichnis.....	VI
1 EINLEITUNG.....	1
2 LITERATURÜBERSICHT.....	3
2.1 GRUNDLAGEN DER ZAHNANATOMIE UND -PATHOLOGIE DER EQUIDEN.....	3
<i>2.1.1 Anatomie der Zähne.....</i>	<i>3</i>
2.1.1.1 Nomenklatur.....	3
2.1.1.2 Anatomischer Bau.....	4
2.1.1.3 Anordnung der Zähne.....	8
<i>2.1.2 Häufige Erkrankungen der Zähne.....</i>	<i>8</i>
2.1.2.1 Incisivi.....	8
2.1.2.2 Prämolare und Molare.....	9
2.1.2.3 Sonstiges.....	11
<i>2.1.3 Kiefergelenk und Kaubewegung.....</i>	<i>11</i>
2.2 VERDAULICHKEIT - BEGRIFFSDEFINITION UND ERMITTLUNG.....	17
2.2.1 Definition.....	17
2.2.2 Beeinflussung der Verdaulichkeit.....	20
2.2.3 Ermittlung der scheinbaren Verdaulichkeit (sV).....	25
2.3 EINFLUSS DER ZAHNBEHANDLUNG AUF DIE SCHEINBARE VERDAULICHKEIT DES FUTTERS.....	26
2.4 DENTALE PARAMETER MIT MÖGLICHEN EINFLUSS AUF DIE VERDAULICHKEIT.....	30
2.4.1 Winkelung der Okklusionsfläche der Backenzähne	31
2.4.2 Rostro-kaudale Mobilität (RCM) der Mandibel.....	32
2.4.3 Morphologie der Okklusionsfläche der Backenzähne.....	32
2.4.4 Behandlungsmethoden.....	33
2.5 KOT DER EQUIDEN UND KOTPARTIKELGRÖSSE.....	34
2.5.1 Eigenschaften des Pferdekots.....	34
2.5.2 Partikelgröße - Bedeutung für die Verdaulichkeit.....	35
2.5.3 Analysemethoden.....	36

2.5.4 Verschiedene Darstellungsmethoden.....	36
2.5.5 Kotpartikelgrößen bei Equiden.....	38
2.5.5.1 Untersuchungen bei zahngesunden Pferden.....	38
2.5.5.2 Untersuchungen bei Pferden mit pathologischen Zahnbefund.....	38
3 PUBLIKATION.....	43
4 DISKUSSION.....	69
4.1 DISKUSSION DER METHODEN.....	69
4.1.1 Allgemeines	69
4.1.2 Bestimmung der Verdaulichkeit in der eigenen Studie.....	69
4.1.3 Bestimmung der Verdaulichkeit in bisherigen Studien.....	70
4.1.4 Bestimmung der Kotpartikelgröße in der eigenen Studie und in anderen Studien....	72
4.2 DISKUSSION DER ERGEBNISSE.....	74
4.3 ANMERKUNG ZU DER BESTIMMUNG DES KAUBILDES.....	76
4.4 MAXIMALE RAUFUTTERAUFNAHME.....	77
4.5 SCHLUSSFOLGERUNG.....	78
5 ZUSAMMENFASSUNG.....	81
6 SUMMARY.....	83
7 LITERATURVERZEICHNIS.....	85
8 DANKSAGUNG.....	93

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
ad lib.	Ad libitum
BW	Body Weight
C	Caninus
Ca	Calcium
cm	Zentimeter
Co	Kobalt
Cu	Kupfer
d	day
DE	Digestible Energy
DM	Dry Matter
et al.	et alii, -ae, -a; und andere
Fe	Ferrum, Eisen
g	Gramm
GE	Gross Energy, Bruttoenergie
HCl	Hydrogenchlorid, Salzsäure
I	Incisivi
IU	International Unit
J	Jod
kg	Kilogramm
KGW	Körpergewicht
LM	Lebendmasse
M	Molarer
Mg	Magnesium
MJ	Megajoule
mm	Millimeter
Mn	Mangan
MOF	Modulus of Fineness
MRT	Mean Retention Time
Na	Natrium
NfE	Stickstoff-freie Extraktstoffe
oS	Organische Substanz
P	Prämolarer
P(Publikation)	Phosphor
pp	Irrtumswahrscheinlichkeit
Ra	Rohasche
RCM	Rostro-kaudale Mobilität

Rfa	Rohfaser
Rfe	Rohfett
Rp	Rohprotein
s	Sekunde
Se	Selen
Std.	Stunde
sV	scheinbare Verdaulichkeit
Tab.	Tabelle
TS	Trockensubstanz
uS	Ursprüngliche Substanz
V	Volt
vgl.	vergleiche
Vit.	Vitamin
WA	Weighted Average
Zn	Zink
µm	Mikrometer
°C	Grad Celsius

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Das modifizierte Triadan System (aus DIXON und DACRE, 2005)...	4
Abbildung 2: Moderater Überbiss (Lateralansicht).....	9
Abbildung 3: Moderater Überbiss (Frontalansicht).....	9
Abbildung 4: Bukkale Exsuperantien am rechten Oberkiefer.....	10
Abbildung 5: Linguale Exsuperantien am linken Unterkiefer.....	10
Abbildung 6: Darstellung der Kaubewegung beim Pferd (aus BAKER und EASLEY, 2007).....	14
Abbildung 7: Schematisierte Darstellung der Bewegung der Mandibel (Frontalansicht) (aus BAKER und EASLEY, 2007).....	14
Abbildung 8: Darstellung der Mahlphase im Kauzyklus (TREMAIN, 1997).....	15

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht über einige Kaubildstudien bei Pferden.....	13
Tabelle 2: Mittelwerte der Bewegungsrichtungen der Mandibel innerhalb eines Kauzykluses vor und nach Zahnbehandlung aus SIMHOFER et al. (2011).....	16
Tabelle 3: Scheinbare Verdaulichkeit (%) bestimmter Pferdefuttermittel (aus MEYER und COENEN, 2002).....	19
Tabelle 4: Präileale Stärkeverdaulichkeit (nach KIENZLE et al. (1992) und MEYER et al. (1995)) abhängig von Getreideart und Zubereitung; Mikroskopisches Bild nach KIENZLE et al. (1998).....	24
Tabelle 5: Tabellarische Übersicht über den Versuchsaufbau und -durchführung zur Bestimmung des Einflusses der Zahnbehandlung auf die Futtermverdaulichkeit und die erzielten Ergebnisse (Mittelwert \pm Standardabweichung.....	28
Tabelle 6: Scheinbare Verdaulichkeit der Mineralstoffe (aus GATTA et al. (1997)) bei zwei verschiedenen Rationen; Mineralstoffe ausschließlich aus Heu und Kraftfutter (keine Mineralfuttersupplementierung).....	30
Tabelle 7: Studien zur Kotpartikelgröße in Abhängigkeit vom Zahnbefund, Analysemethoden, Darstellungsmethoden und Ergebnisse.....	41
Tabelle 8: Scheinbare Verdaulichkeit (%) der Trockensubstanz, Energie und der Rohnährstoffe (Mittelwert \pm Standardabweichung) vor und nach Zahnbehandlung.....	82
Tabelle 9: Apparent digestibility (%) of dry matter, energy and crude nutrients (mean \pm standard deviation) before and after treatment.....	84

1 Einleitung

Dentale Abnormalitäten unterschiedlichen Ausmaßes treten bei Pferden sehr häufig auf (KIRKLAND et al. (1994); BRIGHAM und DUNCANSON, 2000; ALLEN et al. (2004)). Als Folge dieser Zahnprobleme nannte CARMALT (2007) Gewichtsverlust oder ausbleibende Gewichtszunahme, Verdauungsprobleme bis hin zu Koliken, mangelhafte Futterverwertung, schlechte Rittigkeit wegen Gebissproblemen und nicht zu vergessen die Schmerzhaftigkeit für die Tiere.

Die Auswirkungen der Zahnprobleme wurde schon in den Pferdelazaretten während des 2. Weltkrieges erkannt. Aus empirischen Beobachtungen wurde ermittelt, dass durch regelmäßige Zahnkontrollen und -behandlungen, jährlich zwischen 3,5 und 7 Zentner Hafer pro Pferd eingespart werden könnten (Berliner und Münchener Tierärztliche Wochenschrift, 1944). Erklärt werden kann diese Beobachtung nur durch eine verringerte Futterverdaulichkeit bei pathologischen Zahnbefunden.

Studien die sich mit pathologischen Zahnbefunden, vor allem in Zusammenhang mit der Futterverdaulichkeit beschäftigten, kamen zu widersprüchlichen Ergebnissen. CARMALT et al. (2004, 2008) erkannte keine signifikante Beeinflussung der Verdaulichkeit, Gewichtszunahme und Kotpartikelgröße durch Zahnbehandlungen. Dieser Arbeit entgegenzusetzen ist die Studie von RALSTON et al. (2001), welche in bestimmten Teilaspekten eine Verbesserung der Verdaulichkeit ermitteln konnte. Auch PAGLIOSA et al. (2006) zählt zu den Autoren, die eine Verbesserung der Futterverdaulichkeit beschrieben. Effekte auf Verdaulichkeit, Gewichtszunahme und Kotpartikelgröße bei Pferden mit offensichtlichen Problemen beim Kauen wurden auch bei GATTA et al. (1995) deutlich.

In der folgenden Arbeit wurde besonderer Wert auf ein konstantes Verhältnis von Raufutter zu Kraftfutter bei der Verdaulichkeitsbestimmung gelegt. Insbesondere wurde verhindert, dass Pferde nach der Zahnbehandlung mehr Raufutter aufnahmen. Da Raufutter weniger verdaulich ist als Kraftfutter (MEYER und COENEN, 2002) kann dadurch die Verdaulichkeit der gesamten Ration sinken und dadurch der Effekt einer

Zahnbehandlung verschleiert werden. Die Studie ist so konzipiert, dass alle Tiere vor und nach der Behandlung berücksichtigt werden (Vorher-Nachher-Design).

Die Probanden wiesen moderate Zahnprobleme auf, welche sich nicht offensichtlich auf den Gesundheitszustand und das Futteraufnahmeverhalten auswirken. Die routinemäßigen Zahnbehandlungen wurde von Herrn Dr. Peter Stelzer durchgeführt.

2 Literaturübersicht

2.1 Grundlagen der Zahnanatomie und -pathologie der Equiden

2.1.1 Anatomie der Zähne

2.1.1.1 Nomenklatur

Wie die meisten Säugetiere besitzen auch Equiden verschiedene Zahntypen (heterodontes Gebiss). Diese werden von rostral nach kaudal als Schneidezähne (Dens incisivi), Eckzähne (Dens canini), Vorderbackenzähne (Dens prämolares) und Backenzähne (Dens molares) bezeichnet. Die Incisivi dienen zum Greifen und Abtrennen der Nahrung. Die Prämolaren sind bei Pferden sehr stark entwickelt und in der Morphologie nicht von den Molaren abzugrenzen. Dies dient dazu, den bei der Futteraufnahme wichtigen Mahlvorgang zu gewährleisten (BAKER und EASLEY, 2007). Die Anordnung der Zähne ist im Ober- und Unterkiefer identisch und spiegelbildlich. Die Incisivi (I) sind per definitionem in der Mandibel des Unterkiefers und dem Os incisivum des Oberkiefers verankert. Sie werden von rostral aus als Zangen-, Mittel- und Eckschneidezähne bezeichnet (KÖNIG und LIEBICH, 2005). Nach kaudal schließt sich ein zahnfreier Bereich an, das sogenannte Diastema. In diesem Bereich findet sich bei männlichen Tieren regelmäßig, bei weiblichen bei einem Viertel der Tiere, der Caninus (C), auch Eckzahn, Hengstzahn oder Hakenzahn genannt (DIXON, 2000). Zuweilen bleibt dieser Zahn auch von Gingiva bedeckt und tritt nicht an die Oberfläche. Nach kaudal folgen drei bis vier Prämolare (P), wobei der erste Prämolare (P1), als Wolfszahn bezeichnet wird und nur gelegentlich angelegt ist. Laut DIXON (2000) kommt der Wolfszahn häufiger bei männlichen Tieren vor. Den Abschluss des Zahnbogens bilden drei Molare (M). Die Gesamtheit der Zähne wird in der sogenannten Zahnformel angegeben, dazu wird das Gebiss in vier symmetrische Quadranten eingeteilt, Ober- und Unterkiefer und jeweils spiegelbildlich links und rechts.

Ein permanentes Pferdegebiss weist folgende Zahnformel pro Quadrant auf,

$$3\text{ I } (1\text{ C})\text{ 3 P } (4\text{ P})\text{ 3 M}$$

dies entspricht 36 – 44 Zähnen insgesamt.

Ein Milchgebiss stellt sich wie folgt dar. Hier werden die Typbezeichnungen mit einem nachgestellten 'd' für deciduus gekennzeichnet.

$$3\text{ Id } 0\text{ Cd } 3\text{ Pd}$$

Dies entspricht insgesamt 24 Zähnen. Die Molaren sind im Milchgebiss noch nicht angelegt.

Um jeden Zahn eindeutig identifizieren zu können, wird in der neueren Literatur das modifizierte Triadan-System verwendet (FLOYD, 1991). Hierbei wird jeder Zahn mit einer dreistelligen Nummer eindeutig benannt (vgl. Abb.1).

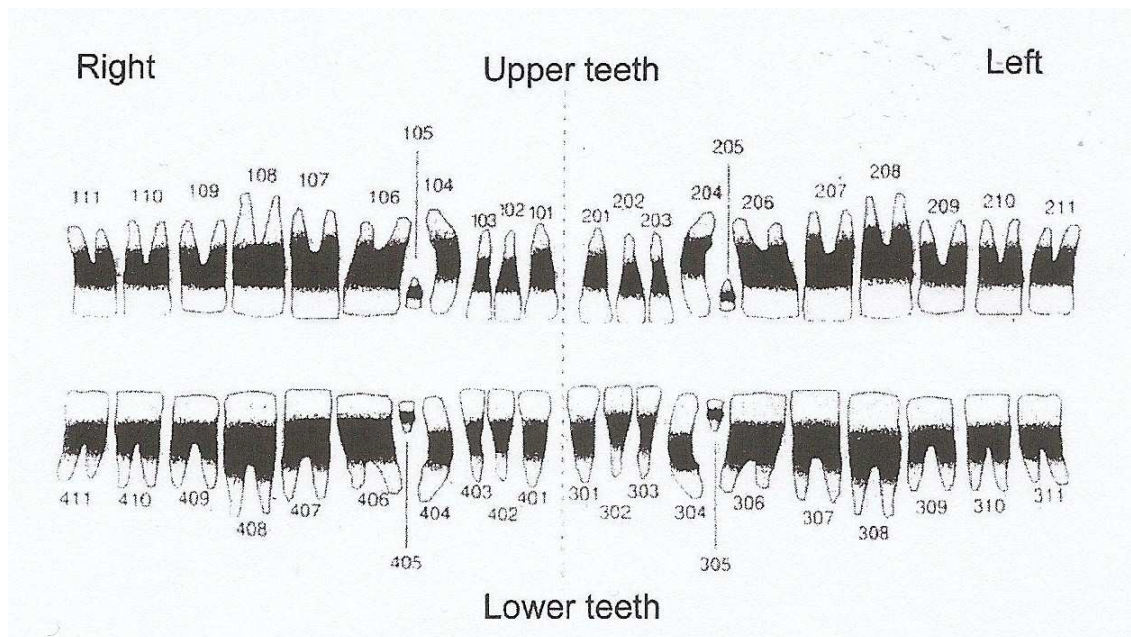


Abbildung 1: Das modifizierte Triadan System (aus DIXON und DACRE, 2005)

2.1.1.2 Anatomischer Bau

Kenntnisse über den Bau der Zähne sind essentiell, um die Zahnpathologie der Equiden

zu verstehen. Die Ausprägung des Gebisses ist durch die Evolution bedingt. Pferde kauen naturgemäß sehr faserreiche und silikathaltige Nahrung (Grasen auf der Steppe), welche zermahlen werden muss. Dies wiederum bedingt einen starken Abrieb der Zahnschmelzsubstanz. Um dies zu kompensieren, schieben sich die Zähne der Equiden jährlich um zwei bis drei Millimeter aus den Alveolen hervor, die Molaren sogar bis zu vier Millimeter (ENGELKE und SCHNAPPER, 2003). Bei Pferden, die hauptsächlich Raufutter erhalten, entspricht dieser Vorschub dem Abrieb durch Abnutzung. Wenn viel konzentriertes Futter (Kraftfutter) angeboten wird, übertrifft der Vorschub den Abrieb und führt zu übermäßigem und teilweise abnormem Zahnwachstum, was wiederum die Funktion des Gebisses beeinträchtigt.

Die Zähne der Equiden werden als hypsodont (hochkronig) bezeichnet. Dies heißt, dass ein großer Teil der Zahnkrone nicht von Anfang an durchgebrochen ist und als Ersatzkrone für den oben genannten Vorschub zur Verfügung steht. Als Gegensatz dazu gibt es brachydonte (kurzkronigen) Zähne, wie sie bei Menschen vorkommen. Hier ist die komplette Krone von Anfang an durchgebrochen und sichtbar. Oft wird fälschlicherweise ein lebenslanges Wachstum der Pferdezähne angenommen. Dies ist, obwohl sie ein deutlich verlängertes Längenwachstum (mehrere Jahre) zeigen, nicht der Fall. Genauso wie die brachydonten Zähne haben die hypsodonten eine begrenzte Wachstumsphase und werden somit als anelodont bezeichnet. Ein permanentes kontinuierliches Wachstum weisen beispielsweise Zähne von Kaninchen auf (elodonte Zähne) (DIXON, 2000).

Die klassische Einteilung in Zahnkrone, Zahnhals und Zahnwurzel ist beim Pferdezahn kaum möglich. Per definitionem ist die Krone der Teil, der mit Zahnschmelz überzogen ist. Beim Pferd ist dies nicht übereinstimmend mit der sichtbaren Krone. Der sichtbare Teil macht bei jungen Pferden nur ca. 10 - 15% der gesamten Krone aus. Ein Zahnhals ist bei den hypsodonten Zähnen nicht ausgebildet. Die Wurzel wird auch erst ausgebildet, wenn der Zahn sein tatsächliches Längenwachstum abgeschlossen hat und bezeichnet so lange nur den schmelzfreien, apikalen Bereich, der am weitesten von der Kau- oder Okklusionsfläche entfernt ist (DIXON, 2000).

Die Substanzen aus denen die Zähne bestehen, sind bei allen Zahnarten (Incisivi, Prämolare und Molare) identisch, variieren nur anteilmäßig. Man unterscheidet drei Hauptschichten, das Zahnbein (Dentin), den Zahnschmelz (Email) und den Zahnzement (Cementum). Diese Schichten grenzen von innen nach außen an die Pulpa an. Die nachfolgende kurze Charakterisierung der Strukturen erfolgt nach DIXON (2000).

Das Dentin ist der Hauptbestandteil des Zahns mit einem Mineralgehalt (anorganischer Anteil) von ca. 70%. Der organische Teil besteht überwiegend aus Kollagenfasern und Mukopolysacchariden. Deren charakteristische Anordnung führt dazu, dass Dentin vor allem durch Bruchfestigkeit und Komprimierbarkeit ausgezeichnet ist. Die Zellen welche Dentin bilden, sind die Odontoblasten, die bei entsprechender Stimulation lebenslang Dentin synthetisieren können (Sekundärdentin). Ebenso können Bindegewebezellen der Pulpa zu Odontoblasten mutieren. Die dentinbildenden Zellen sind am Rand der Pulpa angeordnet. Am Rand der Pulpahöhle wird permanent Sekundärdentin gebildet, was zum allmählichen Verschluss der Pulpahöhle führt. Dies hat enorme praktische Bedeutung, da sonst die Pulpa mit dem physiologischen Abrieb freigelegt werden würde. Zahnbein ist ein vitales Gewebe, das bei übermäßigem Raspeln schmerzempfindlich reagiert.

Der Zahnschmelz mit einem Mineralgehalt von 96 - 98%, stellt die härteste und dichteste im Körper vorkommende Substanz dar. Die organischen Komponenten des Schmelz machen überwiegend Keratine aus, die ektodermalen Ursprungs sind. Im Gegensatz dazu, ist der organische Anteil von Dentin und Zement vor allem aus Kollagenen aufgebaut. Dies weist auf den mesodermalen Ursprung hin. Zahnschmelz wird von Ameloblasten gebildet. Diese sterben nach der Ausbildung ab, demzufolge muss der Schmelz als inerte Substanz betrachtet werden, die kaum Möglichkeiten zur Regeneration bzw. Reparation hat. Die Grundstruktur bilden Hydroxyapatitkristalle, sowohl in strukturierter prismatischer Anordnung, als auch unstrukturiert zwischen den Prismen. Im Allgemeinen bildet der Schmelz eine Struktur die widerstandsfähig gegen Abnutzung ist, wegen der parallelen Anordnung der Prismen und dem interprismatischen Schmelz aber anfällig für Mikrorisse ist. Dieser klassische Aufbau

(Equiner Typ 1 Schmelz) findet sich an den Backenzähnen wieder, die vor allem Mahlfunktion haben. Der Equine Typ 2 Schmelz hat mehrere Ausrichtungen der Prismenbündel und weist so eine erhöhte Rissfestigkeit auf. Dieser Typ kommt vor allem an den Schneidezähnen, welche einer mechanische Belastung beim Grasens ausgesetzt sind, vor.

Der Zement ist ein knochenähnliches Gewebe mit ca. 65% anorganischen Anteilen. Zement ist von hoher Flexibilität gekennzeichnet, die durch die Kollagenfasern bedingt ist. Der Zement wird von Zementoblasten und zum Teil von Fibroblasten (aus dem Parodontium) produziert. Unterhalb der Zahnfleischgrenze, an Wurzel und Reservekrone, stellt der Zement ein lebendes Gewebe dar, sobald der Zahn aber zur sichtbaren Krone durchbricht, werden die Zementoblasten von der Blutversorgung getrennt und der Zement wird zu inerten Substanz. Ein Teil der kollagenen Zementfasern und Kollagenfasern aus dem Parodontium ist für die Bildung der Sharpey'schen Fasern zur Zahnverankerung in der Alveole zuständig.

Die Pulpa liegt in der Pulpahöhle des Zahns und ist ein weiches Gewebe aus Bindegewebefasern und -zellen, Blutgefäßen und Nerven.

Die Okklusionsflächen (Kauflächen) der equinen Prämolaren und Molaren ist charakteristisch für ihre Mahlfunktion ausgelegt. Die unebene Oberfläche zeigt einen Wechsel von hartem und weichem Material, damit das Futter optimal zerkleinert werden kann (ENGELKE und SCHNAPPER, 2003). Der harte Schmelz bildet Falten auf der Kaufläche, sog. schmelzfaltige Zähne und Ausstülpungen, sog. Schmelzleisten. Diese werden wiederum von flexiblen Zement gefüllt und bedeckt, der oft durch Futterbestandteile verfärbt ist. Durch den Abrieb kommt relativ rasch auch das Dentin (und dunkler gefärbtes Sekundärdentin) an der Oberfläche zum Vorschein. Alle drei Strukturen weisen einen unterschiedlichen starken Abrieb und Festigkeit auf und sorgen so für die Unebenheit der Okklusionsflächen der Pferde Zähne, die für das Zermahlen der Futterbestandteile essentiell ist.

2.1.1.3 Anordnung der Zähne

Die Backenzähne des Pferdes sind in vier Reihen (Oberkiefer links und rechts; Unterkiefer links und rechts) zu je sechs Zähnen angeordnet. Die Längsachse des zweiten Prämolaren (-06 nach Triadan) ist nach kaudal ausgerichtet, die Achsen des vorletzten und letzten Molaren nach rostral (-10, -11 nach Triadan). Durch diese Ausrichtung werden die Zahnreihen aneinandergespreßt und bilden so eine funktionelle Einheit (DIXON, 2002). Im kaudalen Bereich der Backenzahnreihe steigt die Okklusionsfläche an. Diese physiologische Aufkrümmung wird als Späth'sche Kurve bezeichnet und muss von pathologischen Befunden unterschieden werden (DIXON 2002; DIXON und DACRE, 2005). Des Weiteren weist das Pferd eine physiologische Anisognathie auf, d.h. der Zahnbogen des Oberkiefers ist um ca. 23% breiter als der des Unterkiefers. Ebenso sind die Molaren der Maxilla breiter und eher quadratisch als die der Mandibel, die eher rechteckig sind. Daraus ergibt sich, dass nur etwa ein Drittel der Kaufläche der Oberkieferzahnreihe mit der Hälfte der Kaufläche der Unterkieferzahnreihe in Kontakt steht (BAKER und EASLY, 2007). Durch dieser Besonderheit hat die Kaufläche, bedingt durch Abnutzung, eine Winkelung von 10 - 15% (vgl. 2.4.1) (DIXON und DACRE, 2005; BAKER und EASLY, 2007).

2.1.2 Häufige Erkrankungen der Zähne

In diesem Abschnitt wird ein kurzer Überblick über die häufigsten Veränderungen und Erkrankungen der Maulhöhle der Pferde gegeben. Einzelheiten und speziellere Krankheitsbilder sind aus weiterführenden Literaturquellen zu entnehmen.

2.1.2.1 Incisivi

Laut DIXON et al. (1999a) sind gravierende Erkrankungen der Incisivi als relativ selten anzusehen. Erwähnenswert ist der sogenannte '**Überbiss**' oder **Brachygnathia inferior**. Durch eine angeborene Verkürzung des Unterkiefers kommt es zur Malokklusion der Schneidezähne, bis hin zum kompletten Fehlen des Kontaktes der Ober- und Unterkieferincisivi. In leichter Ausprägung beeinflusst diese Veränderung die Futteraufnahme nicht (EASLY, 1999). Bei schwerwiegenderen Fällen kann es dazu

kommen, dass die Unterkieferincisivi den Gaumen erreichen und Weichteilläsionen hervorrufen oder eine Aufnahme des Futters nicht mehr möglich ist (BAKER und EASLY, 2007). Des Weiteren ist diese Veränderung oft mit Fehlstellungen an den Backenzähnen verbunden, wobei vor allem die relative rostral Verschiebung der Oberkieferbackenzähne zu beobachten ist. Dies führt dann wiederum dazu, dass die betroffenen Prämolaren keinen Gegenspieler für den physiologischen Abrieb haben und so übermäßig wachsen, ebenso wie die letzten Molaren am Unterkiefer (dentaler Überwuchs; vgl. 2.1.2.2) (DIXON und DACRE, 2005).

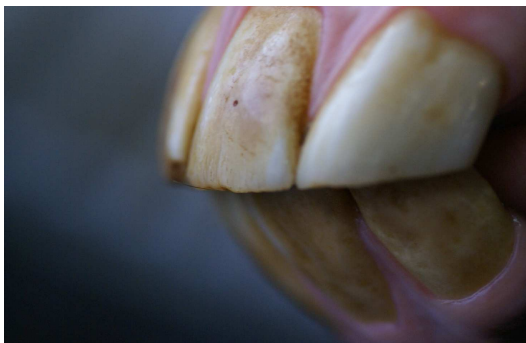


Abbildung 2: Moderater Überbiss
(Lateralansicht)

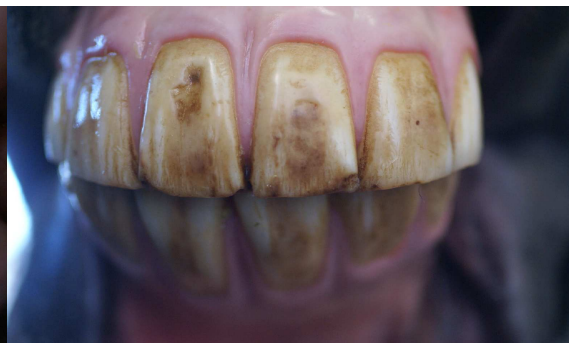


Abbildung 3: Moderater Überbiss
(Frontalansicht)

Das weitaus seltenere Gegenstück hierzu ist der 'Unterbiss' (Brachygnathia superior), der ebenfalls nur in sehr ausgeprägten Formen klinisch Probleme bereitet (DIXON und DACRE, 2005). Hierbei ist die Mandibel zu lang ausgebildet. Beide angeborenen Veränderungen sind zuchthygienisch zu beachten.

2.1.2.2 Prämolare und Molare

Laut DIXON und DACRE (2005) ist die häufigste pathologische Veränderung des equinen Gebisses an den Backenzähnen zu finden und zeigt sich als '**scharfe Haken**' (**Exsuperantium dentium**) an den Seiten der Zahnreihen. Am Oberkiefer treten diese Veränderungen typischerweise bukkal auf, am Unterkiefer an der lingualen Seite. Dies ist durch die Kieferanatomie (vgl. 2.1.1.3) zu erklären. Daraus resultieren häufig Verletzungen, bis hin zu Ulzerationen der angrenzenden Weichteilstrukturen, die

dann zu Unbehagen bei der Nahrungsaufnahme führen. Eine mögliche Ursache hierfür sehen DIXON und DACRE (2005) in der veränderten Futteraufnahme domestizierter Pferde, die die hochenergetischen Futtermittel mit eher vertikalen Kaubewegungen zerkleinern und nicht mit den für Pferde typischen lateralen Bewegungen (LEUE, 1941). Wenn diese Zubildungen an Größe zunehmen, kann es zur steileren Winkelung der Kaufläche kommen (bis zu 45°). Man spricht dann von einem **Scherengebiss** (DIXON und DACRE, 2005). Auf dieses Phänomen wird in 2.4.1 näher eingegangen.

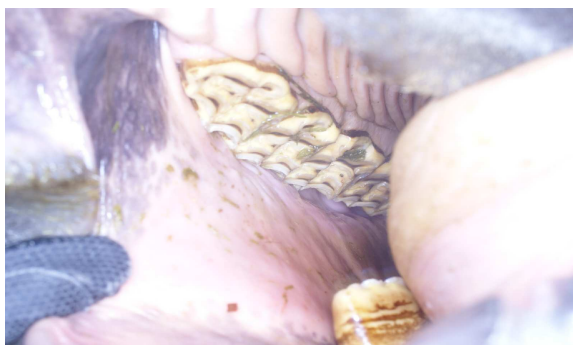


Abbildung 4: Bukkale Exsuperantien am rechten Oberkiefer

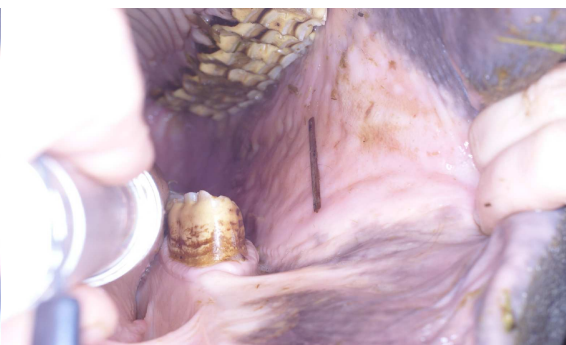


Abbildung 5: Linguale Exsuperantien am linken Unterkiefer

Zu erwähnen ist außerdem noch die relative Verschiebung der Oberkieferzahnreihe nach rostral, dies kommt oftmals in Verbindung mit Fehlstellungen der Incisivi vor (vgl. 2.1.2.1). Dies führt zu einem **dentalen Überwuchs** des P2 (-06) im Oberkiefer in Richtung Unterkiefer und des M3 (-11) im Unterkiefer in Richtung Oberkiefer, bis hin zu Verletzungen am harten Gaumen und der Gefäßstrukturen in diesem Bereich. Diese Zubildungen führen zu einer erheblichen Einschränkung der rostro-kaudalen Bewegung der Mandibel (CARMALT und RACH, 2003).

Aufgrund eventuell fehlender Zähne im Bereich der Backenzahnreihen kann es zu einem reduzierten Abrieb am Gegenspieler kommen und so zur Stufenbildung in den Zahnreihen. Dies wird als **Treppen-, bzw. Wellengebiss** bezeichnet und schränkt die Mahlfunktion des Kiefers und somit die Futterzerkleinerung ebenfalls ein.

2.1.2.3 Sonstiges

Sowohl bei den Incisivi, als auch bei Prämolaren und Molaren, kann es zu **Milchzahnkappen**, d.h. nicht rechtzeitig ausgefallenen Milchzähnen über den schon durchgebrochenen bleibenden Zähnen, kommen. Dies wiederum führt zu Problemen bei der Futteraufnahme. Pathologische **Diastemata** bezeichnen erweiterte Lücken zwischen den Zähnen einer Zahnreihe und führen dazu, dass Futterreste zurückbleiben können. Dies macht die betroffenen Bereiche anfällig für Infektionen (DIXON et al. (1999b)). **Parodontalerkrankungen** betreffen den Zahnhalteapparat und treten ebenfalls häufig auf. Diese lassen sich laut BAKER (1968) in zwei Gruppen unterteilen, den Infektionen (z.B. Gingivitis und Peridontitis) und den Dystrophien (z.B. des Alveolarknochen). BAKER (1968) fand ebenfalls, dass 60% der über 15-jährigen Pferde zu einem bestimmten Grad parodontale Veränderungen aufweisen. Im Alter des Zahnwechsels beobachtete der Autor bei 40% Hinweise auf derartige Erkrankungen. Dieser Wert fällt mit Abschluss des Zahnwechsels wieder. Laut DIXON und DACRE (2005) sind diese Parodontalerkrankungen beim Pferd in der Regel sekundär auf andere Probleme zurückzuführen (Diastema, Malokklusion,...). Allerdings kann ein Schaden am Zahnhalteapparat häufige zu schwerwiegenderen Zuständen, wie z.B. Zahnverlust führen.

Andere Veränderungen wie meist traumatisch bedingte Frakturen, Karies, sonstige Infektionen und weitere angeborene Probleme bleiben hier unberücksichtigt und sind spezieller Literatur zu entnehmen.

2.1.3 Kiefergelenk und Kaubewegung

Das Kiefergelenk (Articulatio temporomandibularis) stellt die Verbindung des Unterkieferastes (Ramus mandibulae) mit der Gelenkfläche des Schläfenbein (Os temporale) dar. Es ist ein inkongruentes Walzengelenk, dessen Gelenkflächen ein Diskus articularis zwischengelagert ist, um die Inkongruenz auszugleichen. Der Diskus teilt die Gelenkhöhle in einen dorsalen und einen ventralen Raum, der seitlich durch eine straffe Kapsel und Bänder begrenzt ist (NICKEL et al. (1996); BAKER, 2002). Das Gelenk befindet sich ca. 15cm oberhalb der Okklusionsfläche der Backenzähne

(DIXON, 2000), dadurch wird eine optimale Kraftübertragung der Kaumuskeln durch das physikalische Prinzip der Hebelwirkung erzielt. Die Walze am Unterkieferast weist bei den einzelnen Individuen eine typische Winkelung von 15° von latero-dorsal nach ventro-medial auf (BAKER, 2002). Dieser Winkel ist auch zwischen den Individuen relativ einheitlich (BAKER, 2002). Laut NICKEL et al. (1996) besitzt das Kiefergelenk folgenden Bewegungsumfang:

- Dorso-ventrale Bewegung der Mandibel
- Laterale Bewegung der Mandibel
- Rostro-kaudale Bewegung der Mandibel.

Die Kaubewegung selbst wurde bereits von zahlreichen Autoren (LEUE, 1941; COLLINSON, 1994; BAKER, 2002; BONIN et al. (2006, 2007); SIMHOFFER et al. (2011)), mit unterschiedlicher Methodik und auch unterschiedlichen Ergebnissen, untersucht. Dies wird anschließend zusammenfassend aufgezeigt.

Tabelle 1: Übersicht über einige Kaubildstudien bei Pferden

<i>Autor</i>	<i>Methodik</i>	<i>Bemerkung</i>
Leue, 1941	Molographen (2-dimensional)	Erkannte den Einfluss der Futterbeschaffenheit und Zahnbefundes auf das Kaubild
Collinson, 1994	Videoanalyse (3-dimensional)	Beschäftigten sich hauptsächlich mit dem Einfluss der Futterbeschaffenheit auf das Kaubild
Baker, 2002	Videoanalyse (3-dimensional)	Beschäftigten sich hauptsächlich mit dem Einfluss der Futterbeschaffenheit auf das Kaubild
Bonin et al. (2006, 2007)	Kinematikstudie mit 12 Markern auf der Haut (3-dimensional)	Entwickelte die Methode zur Bestimmung des Kaubildes mit Markern, die auf die Haut aufgebracht werden
Niederl, 2007	Kinematikstudie mit 10 Markern auf der Haut (3-dimensional)	Prüfung auf Reproduzierbarkeit der Messergebnisse dieser Methode
Anen, 2008	Kinematikstudie mit 10 Markern auf der Haut (3-dimensional)	Einfluss der Zahnbehandlung (verschiedene Behandlungsmethoden) und Zahnextraktion auf das Kaubild
Simhofer et al. (2011)	Kinematikstudie mit 9 Markern auf der Haut (3-dimensional)	Beurteilten den Einfluss der Zahnbehandlung auf das Kaubild

BAKER (2002) definierte das Kauen als zyklische Bewegung, bedingt durch Muskelkontraktionen, die zum Öffnen und Schließen des Kiefers führen. Dies wird vor allem durch die Bewegung der Mandibel erreicht. Auf die einzelnen Kaumuskeln wird an dieser Stelle nicht weiter eingegangen. Pflanzenfresser haben innerhalb des Individuums und auch innerhalb der Spezies ein relativ konstantes und charakteristisches Kaumuster. Wie tatsächlich das Futter zerkleinert wird, hängt aber im Wesentlichen von der Form der Prämolaren und Molaren ab (BAKER, 2002). Nahezu einheitlich wird die Einteilung des Kauzyklus bei Equiden in drei Phasen innerhalb der Autoren verwendet. Dementsprechend sind folgende Phasen zu unterscheiden. Die **Öffnungsphase 'opening stroke'**, bei der die Mandibel (bestimmt anhand von Markern; BONIN et al. (2007)) ventro-lateral von der Kauseite weg und leicht kaudal

geführt wird; die **Schließphase 'closing stroke'**, mit Mandibelbewegung in dorso-laterale, zur Kauseite hin und leicht rostrale Richtung und abschließend die **Mahlphase 'power stroke'**. Im 'power stroke' wird die Mandibel nach medial und dorsal geführt und so das Gleiten und der Kontakt der mandibulären Backenzähne über die Okklusionsfläche der maxillären Backenzähne gewährleistet. In Ruhe berühren sich die Backenzahnreihen des Ober- und Unterkiefers nicht. Laut BAKER (2002) liegt bei manchen Tieren eine bevorzugte Kauseite vor, was dann wiederum zu einseitiger Abnutzung führen kann. Auch bei BONIN et al. (2006) kaute die Hälfte der Probanden immer auf der linken Seite, die andere immer auf der rechten Seite.

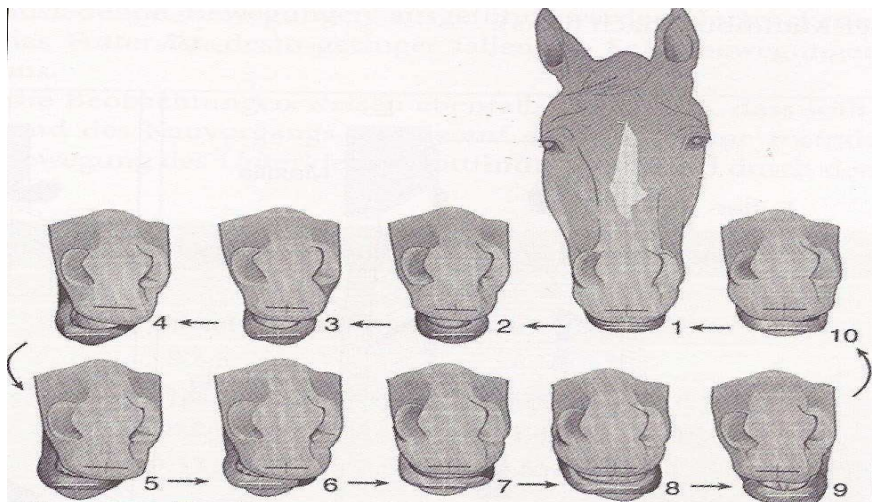


Abbildung 6: Darstellung der Kaubewegung beim Pferd (aus BAKER und EASLEY, 2007)

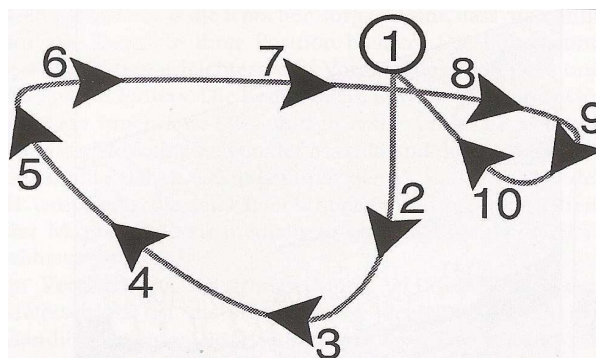


Abbildung 7: Schematisierte Darstellung der Bewegung der Mandibel (Frontalansicht) (aus BAKER und EASLEY, 2007)

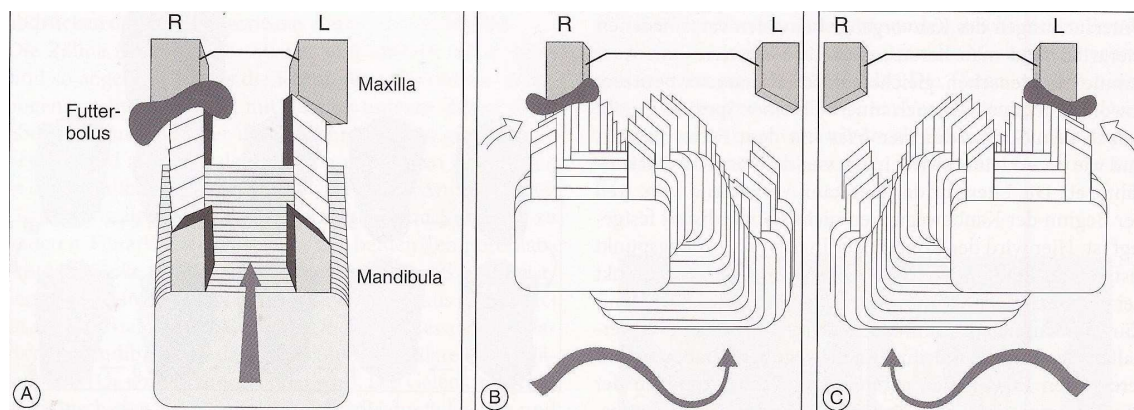


Abbildung 8: Darstellung der Mahlphase im Kauzyklus (TREMAIN, 1997)

Neben der unterschiedlichen Methodik zur Bestimmung des Kaubildes, spielt vor allem die Frage nach dem Einfluss der Futterbeschaffenheit eine wichtige Rolle in der Literatur.

LEUE (1941), der sich als einer der Ersten mit der Thematik beschäftigte, erkannte den Einfluss der Futterbeschaffenheit auf das Kauverhalten. Demnach bestimmt der Feuchtigkeitsgehalt bzw. die Trockensubstanz, der Fasergehalt und die Partikelgröße des angebotenen Futters das Kaubild. Auch die Veränderung der Kaubilder bei zahnkranken Tieren beschrieb er erstmalig. Ovale Kaubilder erhielt er bei zahngesunden Tieren, Zahnerkrankungen führten zu spitzkehrigen oder eingebuchteten Formen. Laut LEUE (1941) stellt ein hoher Gehalt an Faser und Feuchtigkeit (geringe TS) und eine grobe Partikelstruktur eine größere Seitwärtsbewegung der Mandibel sicher, was dem physiologischem Kaumuster bei Pferden am ehesten entspricht. Dies wurde auch von BAKER (2002) und BONIN et al. (2006, 2007) bestätigt. BONIN et al. (2007) arbeitete in ihrer Studie mit Heu (TS: 84,4% und Fasergehalt: 44,6%) und Pellets (TS: 90% und Fasergehalt: 30%) und erklärte die größere Auslenkung der Mandibel beim Kauen von Heu mit dem höheren Fasergehalt oder der größeren Partikelgröße. Langes Heu (grobe Partikel) kann laut der Autorin, im Gegensatz zu Pellets, leichter auf der Okklusionsfläche der Backenzahnreihen, also der tatsächlichen Mahlfläche, gehalten werden und so mit weitausladenderen Bewegungen zerkleinert werden. BAKER (2002) erkannte, dass je höher die Trockensubstanz im Futter ist, desto kleiner die Lateralbewegung des Unterkiefers ist. Dies bestätigte ebenfalls BONIN et al. (2007),

die beim Kauen von Gras mehr Seitwärtsbewegung feststellen konnte, als beim Kauen von Heu. COLLINSON (1994) bestätigte diese These in seiner Arbeit, bei welcher ausschließlich Raufutter geprüft wurde, nicht und erkannte keinen Einfluss des Fasergehalts und der Trockensubstanz auf die Kaubewegung (Lateralverschiebung der Incisivi bei geringem Fasergehalt in cm: $4,4 \pm 0,6$; bei hohem Fasergehalt: $4,4 \pm 0,3$). In dieser Studie war jedoch die Dauer des Mahlvorgangs bei hohem Fasergehalt im Raufutter länger ($0,55 \pm 0,02$ s) als bei niedrigem ($0,51 \pm 0,08$ s). Nicht primär der Einfluss der Ingesta bzw. der Fütterung, sondern der Einfluss einer Zahnbehandlung auf die Kinematik des Kauzykluses, beschäftigte zuletzt SIMHOFER et al. (2011). Es wurden Pferde mit milden Zahnveränderungen als Probanden gewählt. Diese wurden mit einer einheitlichen Heudiät gefüttert und einer Zahnbehandlung unterzogen, die die offensichtlichen Zahnprobleme vollständig beseitigen konnte. Die Ergebnisse lauten wie folgt.

Die Dauer der Kauzyklen wurde nicht signifikant durch Zahnbehandlung beeinflusst (Vor Behandlung: $0,70 \pm 0,04$ s; Nach Behandlung: $0,69 \pm 0,04$ s). Die Mittelwerte der Bewegungsrichtungen der Mandibel wurden zum Teil beeinflusst (vgl. Tab.2). Die rostro-kaudale Auslenkung (RCM) der Mandibel war nach der Zahnbehandlung signifikant reduziert. Dies steht in Widerspruch zu CARMALT et al. (2006), der eine erhöhte RCM nach Zahnbehandlung bei seinen Probanden erhielt. Der 'power stroke' wird nach Zahnbehandlung in seiner Form als signifikant weicher ('smoothened') beschrieben. Als Erklärung wird angenommen, dass das Gleiten der Molaren erleichtert wird, indem die scharfen Ecken und Kanten entfernt wurden.

Tabelle 2: Mittelwerte der Bewegungsrichtungen der Mandibel innerhalb eines Kauzykluses vor und nach Zahnbehandlung aus SIMHOFER et al. (2011)

<i>Bewegungsrichtung der Mandibel</i>	<i>Vor Behandlung (mm)</i>	<i>Nach Behandlung (mm)</i>
Rostro-kaudal (x-Achse)	$9 \pm 2^*$	$8 \pm 2^*$
Lateral (y-Achse)	59 ± 6	62 ± 6
Dorso-ventral (z-Achse)	45 ± 4	43 ± 4

**signifikant ($p < 0,05$)*

ANEN (2007) erkannte in ihrer Arbeit ebenfalls zahlreiche kleinere Veränderungen des Kaubildes, in Abhängigkeit der unterschiedlichen Methoden der Zahnbehandlung. Diese waren jedoch nicht signifikant. Eine erwähnenswerte Tendenz in dieser Arbeit, die Reduzierung der rostro-kaudalen Mobilität (RCM) der Mandibel nach Behandlung, deckt sich mit SIMHOFFER et al. (2011) und steht im Gegensatz zu CARMALT et al. (2006).

Eine weitere Studie die sich mit der Aktivität der Kaumuskeln (Musculus masseter) in Abhängigkeit von verschiedenen Diäten beschäftigt, liefert VERVUERT et al. (2012). Mittels Elektromyogramm wurden die Amplitude und die Dauer der elektrischen Muskelpotentiale gemessen und so auf die Intensität des Kauens geschlossen. Bei Raufutter (Heu, Heulage) wurden hohe Amplituden (um die 10V) gemessen und auch eine relativ lange Dauer der Kauzyklen (ca. 0,3s). Bei Stroh/Luzerne-Häcksel war die Intensität vergleichbar hoch, die Dauer aber kürzer. Dies führt die Autorin auf die kürzeren Partikel zurück. Beim Kraftfutter (Mais) war die Amplitude wesentlich geringer (ca. 6V), was auf eine reduzierte Kauleistung hindeutet. Je höher die Kauintensität in dieser Arbeit war, desto höher war die Speichelproduktion.

2.2 Verdaulichkeit - Begriffsdefinition und Ermittlung

2.2.1 Definition

Als **Verdaulichkeit** wird der Grad der Aufnehmbarkeit eines Futtermittels oder einer kompletten Ration in die Blut- und Lymphbahn des Individuums bezeichnet (KAMPHUES et al. (2009)). Eine sehr anschauliche Definition, beschreibt den Teil des Futters als verdaulich, der nicht wieder mit den Faeces ausgeschieden wird (MEYER und COENEN, 2002).

Dies setzt die mechanische Zerkleinerung der Nahrung, hauptsächlich durch das Kauen in der Maulhöhle bedingt, voraus. Im folgenden Gastrointestinaltrakt wird der Prozess durch den chemischen Aufschluss mittels Verdauungssäften und die fermentative Arbeit diverser Mikroorganismen weiter fortgesetzt. Dieser Prozess wird als **Verdauung** bezeichnet und weist, ebenso wie der Kauvorgang, starke tierartige Unterschiede auf

(KAMPHUES et al. (2009)). Diese werden bei einem Vergleich zwischen herbivoren und karnivoren Spezies deutlich. Bei Letzteren spielen die fermentativen Prozesse der Mikroorganismen, wegen der von Natur aus faserarmen Futtermittel, eine untergeordnete Rolle in der Verdauung. Um die faserreiche Pflanzennahrung verdauen zu können, sind die Mikroorganismen aber essentiell, da diese die Pflanzenfaser aufschließen. Auch ein Vergleich zwischen Wiederkäuern und Equiden, beides Spezies mit hohem Faseranteil in der natürlichen Nahrung, zeigt wesentliche Unterschiede in der Verdauung und dem Nutzungsgrad der einzelnen Bestandteile der Nahrung auf (MEYER und COENEN, 2002). Während bei Wiederkäuern die Mikroorganismen vor allem in den Vormägen tätig sind und die Faserbestandteile aufschließen (Foregut-Fermenter), sind diese mikrobiellen Gärkammern beim Pferd im Blind- und Dickdarm zu finden (Hindgut-Fermenter). Wiederkäuern steht dadurch noch der ganze Darmkanal zur Verfügung bakteriell zerlegte Stoffe aufzunehmen oder auch bakterielle Syntheseprodukte, wie Aminosäuren oder Vitamine zu nutzen. Equiden könnten diese Produkte nur durch Koprophagie (UDEN und VAN SOEST, 1982b) nutzen, was im Allgemeinen bei dieser Spezies kaum vorkommt. Hierdurch ist erklärt, dass Wiederkäuer faserreiche pflanzliche Nahrung zu einem höheren Prozentsatz verwerten können als Equiden, was auch ihre große Artenvielfalt und Verbreitung über den gesamten Globus deutlich werden lässt (MEYER und COENEN, 2002). Die hochwertigeren, konzentrierteren Futtermittel wie Getreide, die leichtverdauliche Inhaltsstoffe enthalten, werden hingegen von Pferden besser genutzt, da diese zum Teil auch schon im Magen und Dünndarm durch die körpereigenen Verdauungsmechanismen umgesetzt werden und so die mikrobiellen Fermentationsverluste reduziert werden. Diese Möglichkeit hat der Wiederkäuer nicht.

Tabelle 3: Scheinbare Verdaulichkeit (%) bestimmter Pferdefuttermittel (aus MEYER und COENEN, 2002)

	Gesamtverdaulichkeit (%)	
	Organische Substanz	Rohprotein
Weizenstroh	33	28
Wiesenheu	45 - 66	53 - 67
Grünfutter (jung)	70	76
Hafer (nativ)	71	79
Mais (geschrotet)	86	88

Die Aufnahme der zerlegten Teilstücke der Nahrung aus dem Verdauungstrakt in die Blut- und Lymphbahn wird als **Resorption** bezeichnet und ist wiederum die Voraussetzung dafür, dass Nahrungsbestandteile vom Organismus genutzt werden können (KAMPHUES et al. (2009)).

Bereits BOERHAAVE (1752) erkannte, dass die Verdauung, die er als Umwandlung von Nahrung in Chymus (Nahrungsbrei) sah, ein Zusammenspiel mehrerer Kräfte war. Zum Einen spielen chemische Vorgänge und Gärprozesse, zum Anderen mechanische Vorgänge laut dem Autor eine wichtige Rolle.

Generell lassen sich verschieden definierte Verdaulichkeiten abgrenzen. Die scheinbare Verdaulichkeit (sV) wird am häufigsten in der Literatur verwendet.

Die scheinbare Verdaulichkeit ist die Differenz zwischen den in der Ration aufgenommenen Nährstoffen und den im Kot ausgeschiedenen Nährstoffen, angegeben in Prozent zur Nährstoffaufnahme.

Formel für die scheinbare Verdaulichkeit in %:

$$\text{sV} = ((\text{Nährstoffe im Futter} - \text{Nährstoffe im Kot}) / \text{Nährstoffe im Futter}) * 100$$

Eine weitere Definition ist die partielle Verdaulichkeit. Diese bestimmt die Verdaulichkeit in festgelegten Abschnitten des Gastrointestinaltrakt. Die präzäkale oder

präileale Stärkeverdaulichkeit bei Pferden beispielsweise sagt aus, welcher Anteil an Stärke bis zum Ende des Dünndarms verdaut werden kann, bevor er im Dickdarm mikrobiell fermentiert wird.

2.2.2 Beeinflussung der Verdaulichkeit

Es werden in der Literatur zahlreiche Faktoren genannt, die die Verdaulichkeit von Futtermitteln beeinflussen. Zwischen den verschiedenen Spezies spielt das Verdauungsprinzip (Foregut- oder Hindgut-Fermentation, mikrobielle oder körpereigene Verdauung) und die Größe des Gesamtorganismus, welche die Darmpassagezeit (Mean Retention time, MRT) beeinflusst, eine wesentliche Rolle (UDEN und VAN SOEST, 1981). Die Studie beinhaltet einen Vergleich in der Faserverdaulichkeit zwischen Wiederkäuern (Rind, Schaf, Ziege), Pferden und Kaninchen. In Bezug auf die Faserverdaulichkeit sind Wiederkäuer den Equiden überlegen, diese wiederum den deutlich kleineren Kaninchen. Bei den Wiederkäuern verbesserte sich sogar innerhalb der Gruppe die Verdaulichkeit mit steigendem Gesamtgewicht und verlängerter MRT. Im Gegensatz dazu haben Elefanten (Hindgut-Fermenter) eine niedrigere Verdaulichkeit aller Nährstoffe als das vom Verdauungsprinzip her ähnliche Pferd, obwohl das Gesamtgewicht wesentlich höher ist. Dies ist auf eine schnellere Ingestapassage zurückzuführen (CLAUSS et al. (2003)).

Die Verdaulichkeit hängt innerhalb einer Spezies außerdem stark vom Individuum ab, dies ist wiederum bei den Equiden besonders ausgeprägt (UDEN und VAN SOEST, 1981). So werden auch in der Literatur diese starken individuellen Schwankungen aufgezeigt (UDEN und VAN SOEST, 1981; MEYER und COENEN, 2002). Diese Variationen können durch unterschiedliches Fressverhalten, z.B. hastige Futteraufnahme und schlechtes Kauen bedingt sein, oder auf Unterschiede im Magen-Darmtrakt, wie beispielsweise Enzymproduktion, Peristaltik und Resorption (HEINTZSCH, 1995). Nicht unbeachtet dürfen auch pathologische Ursachen bleiben. Dazu zählen unter anderem Zahnprobleme oder starker Parasitenbefall.

Neben der Spezies und dem Individuum spielt natürlich auch die Ration eine entscheidende Rolle zur Beeinflussung der Verdaulichkeit. Die wohl wichtigsten

Einflussfaktoren von Seiten des Futtermittels sind dessen Zusammensetzung und dessen Zubereitung, beziehungsweise der Zerkleinerungsgrad (KIENZLE et al. (1992); KLINGEBERG-KRAUS, 2001; MEYER und COENEN, 2002).

Die Mean Retention Time (MRT) für Pferde wird in den verschiedenen Studien mit leicht abweichenden Werten angegeben. MEYER und COENEN (2002) geben Werte von 35 - 50 Stunden als Gesamtpassagezeit an. Davon entfallen ca. 85% auf die Dickdarmpassage, vor allem bei schwerer verdaulichen Futtermitteln mit hohem Fasergehalt. SPONHEIMER et al. (2003) gibt in seiner Studie zum tierartlichen Vergleich der MRT, beim Pferd Werte von 27 ± 5 Stunden an, ebenfalls abhängig von der Futterzusammensetzung und Partikelgröße. Laut SCHIELE (2008) sind vor allem die Faktoren Futterzusammensetzung und Futtermenge ausschlaggebend für die MRT. Bei der Menge ist der Zusammenhang folgender: Je weniger Futter aufgenommen wird, desto länger die MRT.

Von den Inhaltsstoffen hat der Rohfasergehalt den größten Einfluss auf die Verdaulichkeit bestimmter Futtermittel. Verdauen Pferde Stroh, das allgemein einen hohen Rohfasergehalt aufweist, zu ca. 35% der TS der organischen Substanz (oS), wird unbehandelter Hafer, der wenig Rohfaser und viel Stärke enthält, zu 80% (TS der oS) verdaut.

Dies erkannte schon AXELSSON (1941) und entwickelte folgende Formel für die Verdaulichkeit der organischen Substanz.

Formel für der Verdaulichkeit der organischen Substanz (nach AXELSSON, 1941):

$$Y = 93 - 1,26 X$$

Y: Verdaulichkeit der organischen Substanz in %

X: Rohfasergehalt des Futtermittels

Je höher also der Rohfasergehalt, desto geringer ist die Verdaulichkeit des Futtermittels. Auch KLEFFNER (2008) sieht mit steigendem Fasergehalt eine Abnahme der

Nährstoff- und Energieverdaulichkeit. Je höher der Gehalt an Stärke- oder anderen Kohlenhydratverbindungen, desto höher ist die Verdaulichkeit. Andere Verbindungen, wie Fette und Proteine, beeinflussen die Verdaulichkeit nur in geringen Umfang (MEYER und COENEN, 2002). Diese relativ einfache Faustregel wird jedoch durch die uneinheitlichen Bestandteile des Begriffs Rohfaser erschwert. Lignin zählt ebenso dazu wie Cellulose, Hemicellulose und Pektine. Lignin kann selbst mikrobiell kaum zersetzt werden und erreicht schlechte Verdaulichkeitswerte, wohingegen Cellulose, Hemicellulose und Pektine im Dickdarm ähnlich gut zerlegt werden wie Stärke (MEYER und COENEN, 2002).

Der Zerkleinerungsgrad oder die Zubereitung wirkt sich vor allem bei Kraftfutter, wie Hafer oder Mais positiv auf die Verdaulichkeit aus (KIENZLE et al. (1992)). In der Studie wurden drei Zubereitungen (unbehandeltes Korn, Schroten, Quetschen) von Hafer und Mais in Bezug auf ihre präzäkale/präileale Stärkeverdaulichkeit untersucht. Die Stärkeverdauung war im Allgemeinen bei Hafer höher als bei Mais. Schroten brachte im Gegensatz zu Quetschen nochmals bei beiden Körnern deutliche Verbesserungen in der Verdaulichkeit (vgl. Tab.4). Bei KIENZLE et al. (1992) wurde hierfür die makroskopische Struktur der Getreidekörner und der Stärkegranula verantwortlich gemacht. Beim Schroten wird die Struktur ausreichend zerstört, bei gequetschten oder ganzen Körnern jedoch nicht. Daraus folgt, dass bei so behandelten Körnern, die Amylase im Darm besser angreifen kann. Die Unterschiede zwischen den Getreidearten werden durch die unterschiedliche Feinstruktur des Mehlkörpers erklärt. Bei Hafer sind die Stärkegranula relativ lose verbunden, wohingegen sie beim Mais stark miteinander verbunden sind und so den Abbau erschweren (KIENZLE et al. (1992)). Das mikroskopische Bild der Stärkegranula einzelner Getreidearten wird ebenfalls in Tabelle 4 aufgezeigt (KIENZLE et al. (1998)), um die Zusammenhänge zwischen der präilealen Stärkeverdaulichkeit und dem mikroskopischen Bild zu erkennen.

MEYER et al. (1995) führte ebenfalls Studien zur präilealen Stärkeverdauung durch und konnte bei hitzebehandelten Mais (gepoppten Mais) Spitzenwerte in der Verdaulichkeit von 90% feststellen (vgl. Tab.4).

Auch POTTER et al. (1992) erkannte den Einfluss der Zubereitung auf die präzäkale Verdaulichkeit der Stärke, allerdings konnte er keinen Einfluss der botanischen Herkunft der Stärke erkennen. Die bei allen Getreidearten sehr hohe Gesamtverdaulichkeit (um die 98%) und die hohe präileale Verdaulichkeit (um die 80%), begründet diese Studie mit dem sehr niedrigen Stärkegehalt in der verwendeten Ration und somit der ausreichenden Verdauungskapazität im Gastrointestinaltrakt.

Tabelle 4: Präileale Stärkeverdaulichkeit (nach KIENZLE et al. (1992) und MEYER et al. (1995)) abhängig von Getreideart und Zubereitung; Mikroskopisches Bild nach KIENZLE et al. (1998)

	Zubereitung	Verdaulichkeit (%)	Mikroskopisches Bild der Stärkegranula
Hafer	ganz	84*	Einzelne Granula, teilweise in Untereinheiten zerlegt; Angriff der Amylase an der gesamten Oberfläche (Korrosion)
	gequetscht	85*	
	geschrotet	98*°	
Mais	ganz	29*	Intaktes Korn weist starke Verbindungen der Granula auf; beim Schroten unterschiedlich stark zerstört, beim 'Poppen' weitgehend zerstört; Angriff der Amylase in sogenannten 'pin holes' (Löcher in den Granulas); Mais hat zahlreiche, große 'pin holes' auf
	gequetscht	29*	
	geschrotet (1)	51*°	
	geschrotet (2)	71*°	
	gepoppt	90*°	
Gerste	gequetscht	26*	Einzelne Granula; Angriff der Amylase in sogenannten 'pin holes'; Gerste hat nur wenige 'pin holes'

* signifikanter Unterschied zwischen Getreideart; *°signifikanter Einfluss der Zubereitung; ($p < 0,05$)

Bei der Zerkleinerung von Raufutter ist laut MEYER und COENEN (2002) ein gegenteiliger Effekt zu beobachten, wenn es sich um fein pulverisierte Zubereitungen handelt. Die Verdaulichkeit von zerkleinertem Material sinkt infolge einer rascheren Darmpassage im Dickdarm. Bei pelettiertem Raufutter oder Grünmehl ist laut den Autoren kein Effekt auf die Verdaulichkeit zu erwarten.

Weiter Faktoren, die die Verdaulichkeit beeinflussen können sind Futtermenge pro Fütterung, Frequenz der Futterzuteilung und körperliche Belastung (KLINGEBERG-KRAUS, 2001).

2.2.3 Ermittlung der scheinbaren Verdaulichkeit (sV)

Die Anfänge der Verdaulichkeitsuntersuchungen gehen ins 18. Jahrhundert zurück. Zu dieser Zeit wurden rein die adspektorischen Veränderungen, die ein Futtermittel bei der Passage durch den Gastrointestinaltrakt erfahren hat, beurteilt. Ab Mitte des 19. Jahrhunderts wurde die qualitative Beurteilungsweise durch eine quantitative ergänzt. Durch chemische Analysen wurden die Nährstoffe erfasst und die Differenz dieser ermittelt, die nicht im Kot wieder ausgeschieden wurde (KLINGEBERG-KRAUS, 2001).

Die ersten Verdauungsversuche beim Pferd wurden in Deutschland erstmals in der königlichen Tierarzneischule Dresden durchgeführt (HOFMEISTER, 1865). Die Angaben zur Durchführung jener sind allerdings sehr ungenau.

Verdauungsversuche sind die Voraussetzung um die scheinbare Verdaulichkeit zu bestimmen. Die Verdauungsversuche mit quantitativer Messung von Futter und Kot sind die klassische Methode zur Verdaulichkeitsbestimmung (konventionelle Sammelmethode/ Kollektionsmethode). Es muss über einen definierten Zeitraum genau abgewogen werden, was das Tier an Futter aufnimmt, eventuelle nicht gefressene Mengen müssen genauestens rückgewogen werden. So kann die tatsächlich gefressene Menge pro Tag ermittelt werden. Zur gleichen Zeit wird der Kot quantitativ gesammelt und gewogen. Die Dauer der Versuchsphase sollte mindestens eine Darmpassage lang sein, die beim Pferd bei 35 - 50 Stunden (MEYER und COENEN, 2002) angegeben wird. Wichtig ist auch noch, dass dem tatsächlichen Versuch eine Adaptationsperiode vorausgehen sollte, die ebenfalls die Dauer von mindestens einer kompletten Darmpassage aufweist (BRUNSGAARD et al. (1995)).

Eine weitere Möglichkeit zur Verdaulichkeitsbestimmung stellt die Markermethode dar. Dazu stehen verschiedene Marker zur Verfügung. Diese Marker/ Indikatoren werden im Verdauungskanal nicht resorbiert und unverändert wieder ausgeschieden (KAMPHUES et al. (2009)). Anhand der Konzentration des Markers in Stichproben des Kots kann die Verdaulichkeit der Nährstoffe errechnet werden. Die genaue Menge an Marker die übers Futter aufgenommen wurde muss bekannt sein.

Dabei ist zu erwähnen, dass die Markermethode, ebenso wie Kollektionsmethode, über einen Zeitraum von einigen Tagen durchgeführt werden muss, einmalige Stichproben bringen keine zuverlässigen Ergebnisse (VAN KEULEN et al. (1977), BERGERO et al. (2004)). Diese Studien führten einen Vergleich der beiden Methoden durch und gewannen die Proben jeweils über den gleichen Zeitraum. So konnten gleichwertige Resultate erzielt werden. OSLAGE et al. (1987) stellte als Voraussetzung dafür, dass die Kollektionsmethode und die Markermethode vergleichbare Ergebnisse bringen, unter anderem ein einheitliches Futter mit feinen Partikeln fest.

2.3 Einfluss der Zahnbehandlung auf die scheinbare Verdaulichkeit des Futters

Verschiedene Studien kamen zu widersprüchlichen Ergebnissen in Bezug auf den Einfluss der Zahnbehandlung auf die Verdaulichkeit der Ration. GATTA et al. (1995) und PAGLIOSA et al. (2006) fanden eine Erhöhung der Verdaulichkeit aller Nährstoffe nach Zahnkorrektur. RALSTON et al. (2001) konnte keine Veränderung in Abhängigkeit der Zahnbehandlung erkennen, jedoch stellte sie fest, dass vor allem die Rohfaser- und Rohproteinverdaulichkeit sinkt, wenn die Winklung der Okklusionsfläche der Backenzähne einen bestimmten Bereich unter- oder überschreitet (vgl. 2.4.1). CARMALT et al. (2004, 2008) sah keine Veränderung der Verdaulichkeit.

GATTA et al. (1995) und (1997) verwendete 4 gravide Stuten (Ende Gravidität), während CARMALT et al. (2004) mit 56 trächtige Stuten (mittlere Gravidität) arbeitete. RALSTON et al. (2001) arbeitete mit 8 adulten Pferden; Einschlusskriterium hierzu war, dass diese mindestens ein Jahr zuvor keine Zahnbehandlung hatten. PAGLIOSA et al. (2006) verwendete 13 Militärpferde, über deren Gesundheitsstatus keine näheren Angaben gemacht werden. Die Abhängigkeit der Verdaulichkeit von der Backenzahnmorphologie bestimmte CARMALT et al. (2008) an 17 euthanasierten Tieren, mit unterschiedlichen Alter und Gebissstatus.

GATTA et al. (1995, 1997) und PAGLIOSA et al. (2006) limitierten das Kraftfutter. Heu wurde in diesen Studien ad libitum gefüttert. Die Futterrationen bei RALSTON et al. (2001) waren genau festgelegt, sowohl Raufutter, als auch Kraftfutter wurde abgemessen. Während CARMALT et al. (2004, 2008) Mittelwerte über vier

verschiedene Rationen berechnet. Diese Rationen waren mit und ohne Kraftfutter, Heu wurde ad libitum gefüttert und die Heumenge nicht quantifiziert.

Die Adaptionsphase war in den einzelnen Arbeiten zwischen null Tagen (CARMALT et al. (2004)) und 3 Wochen (GATTA et al. (1995, 1997)) lang.

Die Methode zur Bestimmung der Verdaulichkeit reichte von der klassischen Kollektion (GATTA et al. (1995, 1997); RALSTON et al. (2001); CARMALT et al. (2004)), über die Markermethode über einen längeren Zeitraum (PALIOSA et al. (2006)), bis zur Bestimmung der Verdaulichkeit anhand einzelner Stichproben (sogenannten 'Grap samples' aus dem Rektum) mittels Marker (CARMALT et al. (2008)).

Die Schwere der Zahnveränderungen variierte zwischen den Arbeiten erheblich.

Bei GATTA et al. (1995) ist von Zahnproblemen die Rede, die sich schon im sichtbaren Unbehagen beim Kauen äußerten. Er fand signifikante Verbesserungen der Verdaulichkeit aller Nährstoffe, insbesondere die der Rohfaser. Die Faserverdaulichkeit stieg bei GATTA et al. (1995) in der reinen Heu Diät (A) von $38,5 \pm 3,6\%$ vor Behandlung, auf $52,9 \pm 3,5\%$ nach Behandlung. Bei der Heu-Kraftfuttermischung (B) von $44,2 \pm 3,6\%$ vor, auf $45,7 \pm 1,9\%$ nach Behandlung. RALSTON et al. (2001) und CARMALT et al. (2004) haben mit Pferden mit milden bis moderaten Zahnproblemen gearbeitet. Darunter sind leichte Exsuperantien, milde bis moderate Weichteilläsionen und evtl. Treppen-oder Wellengebisse zu verstehen (vgl. 2.1.2.2). In diesen Studien konnte durch die Zahnbehandlung kein signifikanter Effekt auf die Verdaulichkeit erkannt werden. PAGLIOSA et al. (2006) gibt keine näheren Angaben zum Schweregrad der Zahnveränderung.

Tabelle 5: Tabellarische Übersicht über den Versuchsaufbau und -durchführung zur Bestimmung des Einflusses der Zahnbehandlung auf die Futterverdaulichkeit und die erzielten Ergebnisse (Mittelwert \pm Standardabweichung)

RC- Routinebehandlung; PF- Performance Float; ¹ Kontrollgruppe und Versuchsgruppe als Studien Design ; ² 4 Wochen nach der Zahnbehandlung, keine Hochzahl bedeutet Vorher-Nachher-Design,

Autor	Probanden	Dauer der Versuchphase/ Design	Ration	Methode der Verdaulichkeitsbestimmung	Ergebnisse				
					Tendenz	Vor Behandlung/ Kontrollgruppe		Nach Behandlung/ Behandlungsgruppe	
						sV TS (%)	sV Rp (%)	sV TS (%)	sV Rp (%)
Gatta et al. (1995) und (1997)	4 trächtige Stuten (7 - 13 Jahre, 6 - 9 Monate trächtig)	3 Wochen Adaption; 6 Tage Kollektion	2 Diätgruppen: A: Heu ad libitum B: Heu ad libitum und 3kg/d Hafer	Klassische Kollektionsmethode	Veränderung	A: 47,4±3,0 B: 53,8±2,1	A: 44,4±4,2 B: 54,4±3,0	A: 55,3±6,7 B: 56,1±2,3	A: 50,5±5,0 B: 55,3±4,0
Ralston et al. (2001)	8 Pferde (7 - 18 Jahre)	5 Tage Adaption; 4 Tage Kollektion	-Einheitliche Diät Heu 1,5% des KGW/d -Kraftfutter 1,8kg/d (Mais, Hafer und Gerste)	Kollektionsmethode	Veränderung	RC: 51,2±1,2 PF: 52,6±1,9	RC: 63,3±1,8 PF: 66,3±2,3	RC: 50,3±1,7 ² PF: 53,9±1,0 ²	RC: 67,6±2,7 ² PF: 65,9±1,3 ²

Autor	Probanden	Dauer der Versuchsphase/ Design	Ration	Methode der Verdaulichkeitsbestimmung	Ergebnisse				
					Tendenz	Vor Behandlung/ Kontrollgruppe		Nach Behandlung/ Behandlungsgruppe	
						sV TS (%)	sV Rp (%)	sV TS (%)	sV Rp (%)
Carnalt et al.(2004)	56 trächtige Stuten (3 - 18 Jahre, im Mittel 4 Monate trächtig)	Keine Adaption; 5 Tage Kollektion	4 Fütterungsstellen -2,27kg Hafer/Tag und Heu ad lib. -1,59kg Sojapellets/Tag und Heu ad lib. -1,59kg Kanolamehl-pellets /Tag und Heu ad lib. -Nur Heu ad lib. → ein Mittelwert für alle Rationen	Klassische Kollektionsmethode	Keine Veränderung	46,9±2,3 ¹	51,9±2,4 ¹	46,7±2,9 ¹	52,8±4,2 ¹
Pagliosa et al. (2006)	13 Kavalier-Pferde	10 Tage Adaptionsperiode; mehrfache Kollektion	Elefantengras (ad libitum) und rationiert Kraftfutter	Markermethode (Chromoxid)	Veränderung	66,4±2,3	75,0±2,7	75,5±1,5	83,8±1,7
Carnalt et al. (2008)	17 euthanasierte Pferde (2 - 21 Jahre)	Mindestens 2 Wochen vor der Euthanasie; Stichprobe aus dem Rektum (einmalig)	3 verschiedene reine Heudiäten, variierend in Partikelgröße	Markermethode (HCl unlösliche Asche)	Keine Veränderung in Backenzähne erkennbar	Keine Veränderung in Zusammenhang mit der Morphologie der Backenzähne erkennbar			

Werte zur Verdaulichkeit von Mengen- und Spurenelementen bei Pferden, vor und nach Zahnbehandlung, lieferte GATTA et al. (1997). Der Versuchsaufbau dieser Studie war identisch mit dem bei GATTA et al. (1995). Die Ration enthielt keine Mineralfuttersupplementierung. Die Zahnbehandlung wirkte sich positiv auf die scheinbare Verdaulichkeit von Calcium, Phosphor und Magnesium aus, wohingegen bei Natrium und Kalium keine Effekte zu beobachten waren. Bei den Spurenelementen konnte bei Selen eine Verbesserung der scheinbaren Verdaulichkeit nach Zahnbehandlung festgestellt werden, nicht jedoch bei Kupfer, Eisen, Mangan und Zink. GATTA et al. (1997) gab als Erklärung zur signifikanten Verbesserung der Phosphorverdaulichkeit, dass das Futter besser zermahlen wird (kleinere Partikel, vgl. GATTA et al. (1995)) und so die Aufnahme erleichtert. Die Veränderungen der Magnesiumverdaulichkeit könnte laut GATTA et al. (1997) von hohen Calcium- und Kaliumkonzentrationen in der Ration beeinflusst worden sein, welche die Aufnahme von Magnesium reduzierten (NEWTON et al. 1972).

Tabelle 6: Scheinbare Verdaulichkeit der Mineralstoffe (aus GATTA et al. (1997)) bei zwei verschiedenen Rationen; Mineralstoffe ausschließlich aus Heu und Kraftfutter (keine Mineralfuttersupplementierung)

	<i>sV vor Behandlung (%)</i>		<i>sV nach Behandlung (%)</i>	
	<i>Reine Heudiät (A)</i>	<i>Heu- Hafer Diät (B)</i>	<i>Reine Heudiät (A)</i>	<i>Heu- Hafer Diät (B)</i>
Calcium	48	51	61	60
Phosphor	- 2	26	37*	31
Magnesium	22	22	37*	36*
Natrium	47	-32	40	-12
Kalium	61	62	66	62

* *signifikant ($p < 0,05$)*

2.4 Dentale Parameter mit möglichen Einfluss auf die Verdaulichkeit

DIXON und DACRE (2005) vermuten, dass die pathologische Veränderungen an den Zähnen, mit Folgen auf die Nährstoffverdaulichkeit der Ration in Zusammenhang

stehen. Vor allem schmerzhafte Weichteilläsionen in der Maulhöhle, als Konsequenz von Zahnproblemen, ebenso wie Erkrankungen des Kiefergelenks selbst, welche die Kautätigkeit beeinträchtigen, sind hier zu nennen.

Folgende quantifizierbaren Merkmale wurden von verschiedenen Autoren in Beziehung von Kotpartikelgröße und/ oder Verdaulichkeit der Nährstoffe untersucht.

2.4.1 Winklung der Okklusionsfläche der Backenzähne

Eines dieser Merkmale ist der Winkel der Okklusionsfläche an den Prämolaren und Molaren. Dieser resultiert aus der Anisognathie und der typischen Kaubewegung der Equiden (DIXON, 2000; CARMALT et al. (2005)). Die Zähne der Mandibel haben den höchsten Punkt lingual, die Zähne der Maxilla den höchsten Punkt bukkal. Der durchschnittliche physiologische Winkel dieser Fläche wird mit $10 - 15^\circ$ zur horizontalen Achse angegeben (BRIGHAM und DUNCANSON, 2000; DIXON, 2000). Umgerechnet auf die vertikale Achse bei RALSTON et al. (2001) entspricht das $75 - 80^\circ$. BRIGHAM und DUNCANSON (2000) stellten die negativen Auswirkungen eines extrem steilen Winkels (um die 45° zur Horizontalen), was auch als Scherengebiss bezeichnet wird, auf die Fähigkeit zu Kauen und somit die Verdaulichkeit dar. Diese extreme Winklung ergibt sich unter anderem, wenn die Seitwärtsbewegungen der Mandibel im Kauzyklus dauerhaft zu gering sind, was bei zu konzentrierter Fütterung der Fall ist (EASLEY, 1996). Dies führt zu verstärkter Exsuperantienbildung, welche den Bewegungsumfang beeinträchtigen. RALSTON et al. (2001) bestimmte den Winkel am Prämolaren 307 (P2, linker Unterkiefer) zur vertikalen Achse und erhielt optimale Werte von $70 - 87^\circ$ (horizontale Achse $3 - 20^\circ$). In dieser Studie war die Verdaulichkeit von Rohfaser und Rohprotein signifikant reduziert, wenn der Winkel über 80° (vertikale Ebene) bzw. unter 10° (horizontale Ebene) lag. CARMALT et al. (2005) bestimmte den Winkel mittels photographischer Darstellung anhand der seitlich ausgelenkten Incisivi und erhielt auf diese Weise einen Mittelwert des Winkels von $9,17^\circ \pm 2,28^\circ$ der gesamten molaren Okklusionsfläche, im Gegensatz zum Winkel eines einzelnen Zahns, wie bei RALSTON et al. (2001). Er erkannte keinen Zusammenhang des Winkels mit Futterverdaulichkeit oder Kotpartikelgröße im Bereich von $6 - 19^\circ$ (horizontale Achse).

2.4.2 Rostro-kaudale Mobilität (RCM) der Mandibel

Ein weiterer Parameter ist der Einfluss der rostro-kaudalen Mobilität (RCM) der Mandibel auf die Verdaulichkeit. Hierbei wird der Abstand der Incisivi (am I1 der jeweiligen Seiten) der Maxilla und der Mandibel gemessen. Dies geschieht einmal mit einer Kopfhaltung in der die Mandibel parallel zum Boden ist und ein weiteres Mal in maximaler Flexion des Atlantookzipitalgelenks. Die Differenz wird als RCM bezeichnet (CARMALT et al. (2003, 2006)). CARMALT et al. (2003) erkannte in seiner Studie, dass eine routinemäßige Zahnbehandlung die RCM bei den meisten Tieren (31 von 33 Pferden) signifikant verbessert. Vor der Behandlung ermittelte er rasseabhängige Werte $2,10 \pm 1,6$ bis $2,6 \pm 2,0$ mm bei leichten bis mittleren Rassen (bei Kaltblütern $3,88 \pm 2,31$ mm) auf, nach der Behandlung erhielt er einen Mittelwert von $5,89 \pm 2,77$ mm für leichte bis mittlere Tiere (bei Kaltblütern $8,64 \pm 3,12$ mm). Dieser primär technische Aspekt des Bewegungsumfangs wurde auf seine klinische Auswirkung auf Futterverdaulichkeit und Kotpartikelgröße untersucht (CARMALT et al. (2006)). Hier lag eine RCM von $5,25 \pm 2,18$ mm bei zahnbehandelten Tieren vor und bei der unbehandelten Kontrollgruppe eine RCM von $1,88 \pm 1,78$ mm. Der Grad, bzw. die Schwere, der pathologischen Veränderungen an den Zähnen spielt laut dem Autor keine wesentliche Rolle für die RCM. Die verbesserte RCM hatte in dieser genannten Studie weder signifikanten Einfluss auf die Nährstoffverdaulichkeit, noch auf die Kotpartikelgröße. Ebenso wie CARMALT et al. (2003, 2006) erhielt BONIN et al. (2007) Werte für eine physiologische RCM um die 6mm. Hier wurden aber keine weiterführenden Untersuchungen in Bezug auf die klinische Relevanz durchgeführt. SIMHOFER et al. (2011) stellte im Gegensatz zu diesen Autoren eine signifikante Reduzierung der rostro-kaudalen Mobilität nach Zahnbehandlung fest (9 ± 2 mm vor Behandlung; 8 ± 2 mm nach Behandlung). Er ermittelte die RCM mittels Hautmarkern (vgl. 2.4.2).

2.4.3 Morphologie der Okklusionsfläche der Backenzähne

Die Morphologie der Okklusionsfläche der Backenzähne bestimmt laut BAKER (2002) die Futterzerkleinerung bei der jeweiligen Spezies. CARMALT et al. (2008) beschäftigt

sich mit der Frage des Einflusses der Morphologie der Prämolaren und Molaren auf die scheinbare Verdaulichkeit der Ration und die Partikelgröße der Ingesta und des Kots. Hierzu wurden an euthanasierten Pferden die Backenzähne der Mandibel und der Maxilla digital photographiert und mittels computerbasierter Analyse ausgewertet. Hier kamen unter anderem Parameter wie die Gesamtoberfläche (total surface area), die innere Oberfläche (inner surface area; Fläche jedes Zahns die mit dem äußeren Schmelz umgeben ist) und die äußere Oberfläche (outer surface area; Differenz zwischen Gesamtoberfläche und innerer Oberfläche) zur Auswertung. Als Ergebnis kann Folgendes aufgezeigt werden. Die Werte der Parameter zeigen signifikante Unterschiede zwischen den Pferden mit kompletten Gebiss und inkompletten Gebiss (juveniles Gebiss) auf. Im Fall des zum Teil noch inkompletten juvenilen Gebisses fallen die Flächen noch deutlich geringer aus, als beim permanenten Gebiss. Allerdings gibt es in der Studie keine Hinweise, dass dies die Verdaulichkeit der Ration oder die Partikelgröße in der Ingesta oder im Kot beeinflusst. Es müssen also wirksame Kompensationsmechanismen vorliegen, die dies ausgleichen können (CARMALT et al. (2008)).

2.4.4 Behandlungsmethoden

Uneinigkeit zwischen den verschiedenen Autoren besteht, wie bei den Auswirkungen der Zahnveränderungen, auch bei der Art und Weise wie diese pathologischen Veränderungen behandelt werden sollen.

Es können bei den Behandlungsmethoden grob zwei Prinzipien unterschieden werden. Das sogenannte 'dental floating', also das entfernen scharfer Exsuperantien an den lingualen bzw. bukkalen Backenzahnarkaden, das Entfernen von dentalem Überwuchs an P2 bzw. M3 (-06 bzw. -11) und eventuelle Korrektur von Treppen- oder Wellengebissen, ist die am häufigsten praktizierte Vorgehensweise (SCRUTCHFIELD et al. (1999)). Hierbei werden die Okklusionsflächen der Backenzähne, mit ihrer typisch gerillten Struktur, die für die Futterzerkleinerung wichtig ist, soweit wie möglich geschont. Es wird angenommen, dass somit das Kaubild, die Zerkleinerung des Futters und die Futterverdaulichkeit verbessert wird.

Der wesentlich aggressivere Ansatz ist das 'performance floating'. Hier wird die komplette Okklusionsfläche der Backenzähne abgeschliffen, bis sie komplett geglättet ist (LANE, 1994). Laut DIXON (2000) führt die Methode zu einer reduzierten Fähigkeit Futter angemessen zu Kauen und zu Zerkleinern. RALSTON et al. (2001) hat diese beiden Methoden im Hinblick auf die Futterverdaulichkeit untersucht. Bei ihren Probanden waren keine schwerwiegenden Zahnprobleme vorhanden und es konnte kein signifikanter Einfluss sowohl der einen, als auch der anderen der beiden Methoden, auf die Verdaulichkeit bestätigt werden. Eine weitere Studie von ALLEN et al. (2004) zeigt auf, dass bei bereits zweiminütiger elektrischer Schleifbehandlung (ohne Wasserkühlung), wie es beim 'performance float' der Fall ist, Temperaturerhöhungen von über fünf Grad Celsius an den Zähnen auftreten. Dies kann im Vergleich, an humanen Zähnen, wegen der Denaturierung des Proteins bereits zu irreversiblen Pulpaschäden führen (ZACH et al. (1965)).

2.5 Kot der Equiden und Kotpartikelgröße

2.5.1 Eigenschaften des Pferdekots

Die abgesetzte Kotmenge variiert bei Pferden in Abhängigkeit der Futtermengen und der Verdaulichkeit der Ration zwischen ein und drei Prozent des Körpergewichts (MEYER und COENEN, 2002). SCHIELE (2008) gab bei Ponys ausgeschiedene Mengen von 6 - 19kg uS/ Tag pro Tier an. In dieser Studie wurden unterschiedliche Diäten zu stark variierenden Mengen verfüttert. Die Häufigkeit des Kotabsatzes geben MEYER und COENEN (2002) mit alle 90 - 120 Minuten an, abhängig von Verdaulichkeit des Futter, Wassergehalt in der Ration, Bewegung der Pferde und den individuellen Unterschieden entsprechend.

Den Gehalt an Trockensubstanz im Pferdekot gibt die Literatur relativ einheitlich wieder. Bei MEYER und COENEN (2002) finden sich Werte um 25%, SCHIELE (2008) gibt Werte zwischen 18 und 24% an. Die Fütterung hat allerdings wesentlichen Einfluss auf den TS Gehalt, so führt Stroh zu höheren Werten, während Silage niedrige TS- Werte bedingt (MEYER und COENEN, 2002).

2.5.2 Partikelgröße - Bedeutung für die Verdaulichkeit

Die Kotpartikel bilden die Zerkleinerung des Futters durch das Kauen im Kopfdarm ab. Dies stellten MEYER et al. (1986) für Pferde fest, MC LEOD und MINSON (1988) ebenso wie PEREZ-BARBIERA und GORDON (1998) konnten dies bei Wiederkäuern zeigen. Das heißt die Partikel werden während der Passage durch den Verdauungstrakt nicht mehr in der Länge verändert. Mikrobielle Verdauungsprozesse spielen also in der Längenreduktion der Partikel kaum eine Rolle (POPPI et al. (1980), FUJIKARA et al. (1989)). CARMALT et al. (2008) konnte bei der Entnahme von Ingesta aus verschiedenen Abschnitten des Gastrointestinaltrakts bei euthanasierten Pferden (Magen, kleines Kolon und Rektum) ebenfalls feststellen, dass nach dem Kauen keine wesentliche Längenreduktion der Partikel mehr erfolgt.

Je kleiner die Nahrungspartikel sind, desto besser ist das Verhältnis von der Oberfläche zum Volumen, was wiederum den digestiven Abbau begünstigt. Den Zusammenhang zwischen Kotpartikelgröße und Effizienz der Verdauung beschrieb auch FRITZ (2007). Die Retentionszeit der Ingesta im Gastrointestinaltrakt wird ebenfalls durch die Partikelgröße beeinflusst. Equiden (Hindgut-Fermenter) nutzen die selektive Partikelretention feiner Partikel im Blinddarm (BJÖRNHAG et al. (1984)). Wiederkäuer (Foregut-Fermenter) hingegen halten die groben Partikel in den Vormägen zurück, um sie durch den Wiederkauakt weiter zu zerkleinern und durch die Retention allein schon einen effektiveren Abbau der Gerüstsubstanzen zu erzielen (UDEN und VAN SOEST, 1982a; VON ENGELHARDT et al. (2000); CLAUSS und LECHNER-DOLL, 2001).

Die These, dass größere Spezies gröbere Kotpartikel aufweisen (UDEN und VAN SOEST, 1982a; OKAMOTO, 1997; CLAUSS et al. (2002)) betätigte auch FRITZ (2007) in ihrer Arbeit. Dadurch ergeben sich laut CLAUSS und HUMMEL (2005) Nachteile in der Verdauungseffizienz, die den offensichtlichen Vorteilen bei Tieren mit großer Körpermasse, wie größere relative Darmkapazität (PARRA, 1978) und längere Retentionszeiten (ILLIUS und GORDON, 1992) entgegenwirken.

2.5.3 Analysemethoden

Prinzipiell lassen sich zwei verschiedene Methoden nennen, die zu einer Auftrennung der Partikel in Futter, Magen-Darminhalt oder Kot führen. Zum Einen das Siebverfahren (Nasssiebung oder Trockensiebung) (POPPI et al. (1980); GERNET, 1984) und zum Anderen optische Verfahren, die das Ausmaß der Partikel entweder mit dem Auge des jeweiligen Untersuchers oder mittels Bildanalyseprogramme am Computer erfassen (DUNBAR und BOSE, 1991; NØRGAARD et al. (2004)).

Bei der Siebmethode werden die Partikel mit Hilfe einer Reihung von Sieben mit unterschiedlicher Maschenweite getrennt (POPPI et al. (1980); GERNET, 1984; CLAUSS et al. (2002)). Bei der Nasssiebung wird die Probe in Flüssigkeit (in der Regel Wasser) gelöst und unter ständigem Wasserzulauf gesiebt. Die Trockensiebung erfolgt ohne Wasser. In der Regel ist vorher eine Trocknung des Probenmaterials nötig. Die Siebsäule ist in ständiger Vibration und Oszillation, was zur Trennung der Partikel führt (FRITZ, 2007).

2.5.4 Verschiedene Darstellungsmethoden

Dieser Abschnitt soll eine Auswahl an verschiedenen häufig verwendeten Darstellungsmethoden aufzeigen.

- Nicht retinierter Anteil
- kumulative Darstellung (Summenprozentkurve)
- Modulus of fineness (MOF)
- Weighted Average (WA)
- geometrischer Mittelwert (Mean)

Der '**Nicht retinierte Anteil**' der Partikel stellt den Anteil dar, der auf dem kleinsten Sieb nicht aufgehalten wird und somit nicht erfasst wird. Er wird berechnet aus der Differenz der Trockensubstanz-Einwaage und der Summe der Trockensubstanz auf allen

Sieben. Weiter werden Verfahren genannt, die diesen Anteil mittels Zentrifugation des Siebwassers erfassen (GERNET, 1984).

Die **kumulative Darstellung (Summenprozentkurve)** für ein bestimmtes Sieb erfasst den prozentualen Anteil der Partikel an der eingewogenen Trockensubstanzmenge, der auf diesem Sieb und den vorherigen (grobmaschigeren) zurückgehalten wird. Auf dem kleinsten Sieb sind das 100%. Die nicht retinierten Partikel werden hier nicht berücksichtigt.

Die folgenden drei Größen beschäftigen sich mit der durchschnittlichen Partikelgröße (FRITZ, 2007).

Der **Modulus of fineness (MOF)**, berechnet nach POPPI et al. (1980), gibt die Siebnummer, nicht die Maschenweite oder Porengröße an bei der Partikel einer Probe durchschnittlich zurückgehalten werden. Die Trockenmasse, die hier auf einem einzelnen Sieb zurückgehalten wird, wird in Prozent der auf allen Sieben zurückgehaltenen Trockenmasse angegeben. Der Prozentsatz auf dem feinsten Sieb wird mit 1 multipliziert, dem folgenden Gröberen mit 2, dann mit 3 und so weiter bis zum letzten Sieb. Die Werte werden addiert und durch 100 geteilt. Diese rein rechnerische Größe ist also nur vergleichbar, wenn Siebe mit den gleichen Maschenweiten gewählt wurden, da nicht die tatsächliche Porengröße zugrunde liegt, sondern die Siebnummer.

Der **'Weighted Average' (WA)** oder gewichteter Mittelwert wird analog zum MOF ermittelt. Anstelle der Siebnummer werden die tatsächlichen Maschenweiten eingesetzt. Man erhält hier also tatsächliche Partikelgrößen. Vergleichbar sind aber wiederum nur Ergebnisse bei denen die gleichen Siebreihen eingesetzt wurden.

Der **geometrische Mittelwert (Mean)** oder die durchschnittliche Partikelgröße wird meist mit Hilfe eines Computerprogramms errechnet [TableCurve 2D v5.01 (Systat Software UK Ltd., London Großbritannien)]. Das Programm passt exponentielle Funktionen an die Partikelverteilung an. Eine manuelle Anpassung der Werte liefert laut FRITZ (2007) nur unzureichende Ergebnisse. Die Kurve die dem Verteilungsmuster am nächsten kommt wird ausgewählt. Der Mean bezieht sich auf die tatsächliche Partikelgröße und nicht auf die Siebe.

2.5.5 Kotpartikelgrößen bei Equiden

2.5.5.1 Untersuchungen bei zahngesunden Pferden

In diesem Abschnitt wird eine kurze Übersicht über die erzielten Werte bei der Bestimmung von Partikelgrößen im Pferdekot gegeben. Die Studien untersuchten die Partikelgrößen ohne auf Zusammenhänge mit möglichen Zahnproblemen zu achten.

GRENET et al. (1984) fand eine durchschnittliche Partikelgröße im Pferdekot von $1,8 \pm 0,8\text{mm}$ bei Raufutterfütterung. In dieser Studie wurde Heu, Stroh und Maissilage mit Sojamehl gefüttert. Die Werte wurden mittels Nasssiebung (8mm, 6,3mm, 4mm, 2,5mm, 1,25mm, 0,8mm, 0,4mm, 0,16mm) bestimmt. OKAMOTO (1997) ermittelte für Pferde einen MOF von 3,6 und eine durchschnittliche Partikelgröße von $7,079 \pm 0,061\text{mm}$. Zur Fütterung fehlen in dieser Arbeit die genauen Angaben. Die Nasssiebung erfolgt mit Maschenweiten zwischen 0,15 und 2,36mm (insgesamt fünf Siebe).

FRITZ (2007) erhielt für die Nasssiebung mit 9 Sieben (Maschenweite: 16mm, 8mm, 4mm, 2mm, 1mm, 0,5mm, 0,25mm, 0,125mm, 0,063mm) MOF-Werte von 3,2 bis 4,2 bei Equiden. Ähnliche Werte wie FRITZ (2007) mittels Nasssiebung erzielte SCHIELE (2008). Der MOF betrug 3,2 bis 4 in Abhängigkeit der Heuqualität. Es wurde Heu durchschnittlicher Qualität und überständiges Heu geprüft. FRITZ (2007) und SCHIELE (2008) arbeiteten mit den gleichen Siebsätzen.

WICKSTRÖM (2010) bestimmte die Partikelgröße bei Heulagefütterung (unterschiedliche Erntezeitpunkte) mittels Nasssiebung (2mm, 1mm, 0,63mm, 0,315mm, 0,2mm, 0,1mm). Die Studie gibt keine exakten Werte an, sondern vergleicht die Verteilungsmuster der Partikel. Dabei ist der Anteil an gröberen Partikeln ($> 0,1\text{mm}$) höher, je stärker lignifiziert (älter) die Heulage ist.

2.5.5.2 Untersuchungen bei Pferden mit pathologischen Zahnbefund

Arbeiten, die sich mit der Kotpartikelgröße in Abhängigkeit vom Zahnbefund beschäftigten, gibt es nur begrenzt (vgl. Tab.7). Bis auf GATTA et al. (1995) konnte

keine Studie Veränderungen der Kotpartikelgröße nach Behandlung eines pathologischen Zahnbefundes erkennen.

GATTA et al. (1995) bestimmte den prozentualen Anteil bestimmter Partikelfractionen, wobei der Hauptteil (ca. 50%) bei Größen um die 4mm liegt und somit deutlich gröber ist, als in anderen Studien. In dieser Arbeit wurde Heu und Heu/Hafer gefüttert. Die Werte ermittelte der Autor mittels Nasssiebung (vgl. Tab.7). Bei der reinen Heudiät waren der Prozentsatz kleiner Partikel (kleiner ein Millimeter) nach der Behandlung tendenziell erhöht, bei der Heu/Hafer Diät war die Erhöhung signifikant.

Werte zu den Partikelgrößen liefert noch CARMALT et al. (2004, 2006, 2008). In diesen Arbeiten wurde die Kotpartikelgröße mittels Trockensiebung bestimmt und der getrocknete Kot mit Gummibällen aufgelockert. CARMALT et al. (2004) brachte Werte für die durchschnittliche Partikelgröße in Abhängigkeit der Fütterung von 0,398mm (Heu und Hafer), 0,387mm (Heu), 0,360mm (Heu und Sojapellets) und 0,365mm (Heu und Canolamehlpellets). Die Zahnbehandlung hatte keinen Effekt auf die Partikelgröße.

CARMALT et al. (2006) bekam in seiner Studie (reine Heufütterung) eine durchschnittliche Partikelgröße von 0,375mm bei allen Pferden, sowohl bei der Behandlungsgruppe, als auch bei der Kontrollgruppe.

CARMALT et al. (2008) gibt für die durchschnittliche Kotpartikelgröße Werte von $1,36 \pm 0,16$ mm an, die in etwa der Größe der Partikel im Magen entsprechen ($1,29 \pm 0,26$ mm). Die Fütterung in dieser Studie erfolgte mit drei verschiedenen Heudiäten.

Aus den Rohdaten von NÖMAIER (2009) ergeben sich durchschnittliche Partikelgrößen von 2,6 - 3,7mm. Die Autorin gab keine genauen Angaben über die Fütterung. Die Werte wurden mittels Nasssiebung (vgl. Tab.7) aus einer Gruppe von Pferden mit milden bis moderaten Zahnveränderungen (Gruppe A) und einer Gruppe von Tieren mit hochgradigen Veränderungen (Gruppe B) ermittelt. In keiner der Gruppen konnte eine signifikante Veränderung der Partikelgrößen nach Behandlung festgestellt werden. Eine Tendenz zu feineren Partikeln nach der Behandlung in der Gruppe mit höhergradigen Problemen (B) war gegeben. Im Vergleich der Gruppen

untereinander konnte festgestellt werden, dass die Partikel der Gruppe B signifikant gröber waren als die der Gruppe A (Kumulative Darstellung ($> 4\text{mm}$) in Prozent: A: $32,78 \pm 6,16$ und B: $36,93 \pm 18,78$).

Tabelle 7: Studien zur Kotpartikelgröße in Abhängigkeit vom Zahnbefund, Analysemethoden, Darstellungsmethoden und Ergebnisse

<i>Autor</i>	<i>Zahnbefund</i>	<i>Methode</i>	<i>Darstellungsmethode</i>	<i>Ergebnisse</i>
Gatta et al. (1995)	Kauverhalten offensichtlich gestört; korrekte Okklusion nach Behandlung möglich	Nasssiebung, Maschenweite 10,4,2,1 und <1mm. (Fa. Retsch, Haan, Germany)	Prozentualer Anteil bestimmter Partikelfractionen	Fraktion der kleinen Partikel (2mm bis <1mm) nimmt nach Behandlung zu; Signifikant nur für Heu/Hafer-Diät
Carmalt et al. (2004)	Gering- bis mittelgradige, jedoch deutliche pathologische Befunde, Kauverhalten ungestört	Zerkleinerung des getrockneten Kots mit Gummibällen Trockensiebung mit zwei Säulen; (Maschenweite I: 6,7; 4,75; 4,00; 3,36; 2,36; 1,41; 0,85mm II: 0,85; 0,589; 0,355; 0,15; 0,075; 0,053mm	geometrischer Mittelwert (Mean)	Kein Effekt; geometrischer Mittelwert bei behandelten und unbehandelten Tieren nicht signifikant verändert; wesentlich kleinere Partikel als in Studien anderer Autoren
Carmalt et al. (2006)	Ermittlung des Einflusses der Rostro-kaudalen Mobilität (RCM) der Mandibel auf die Kotpartikel	Zerkleinerung des getrockneten Kots mit Gummibällen Trockensiebung mit zwei Säulen; (Maschenweite I: 6,7; 4,75; 4,00; 3,36; 2,36; 1,41; 0,85mm II: 0,85; 0,589; 0,355; 0,15; 0,075; 0,053mm	geometrischer Mittelwert (Mean)	RCM hat keinen Einfluss auf Kotpartikelgröße; wesentlich kleinere Partikel als in Studien anderer Autoren

<i>Literatur</i>	<i>Zahnbefund</i>	<i>Methode</i>	<i>Darstellungs methode</i>	<i>Ergebnisse</i>
Carmalt et al. (2008)	Euthanasierte Tiere; Euthanasiegrund hatte nichts mit Zahnbefund zu tun, Pathologische Befunde waren jedoch in unterschiedliche m Ausmaß vorhanden (Pathologiescore)	Trockensiebung mit zwei Säulen; (Maschenweite I: 6,7; 4,75; 4,00; 3,36; 2,36; 1,41; 0,85mm II: 0,85; 0,589; 0,355; 0,15; 0,075; 0,053mm)	geometrischer Mittelwert (Mean)	Kein Zusammenhang zwischen Zahnpathologiescore und Partikelgröße im Kot feststellbar; wesentlich kleinere Partikel als in Studien anderer Autoren
Nömaier (2009)	Gruppe 1: Gering- bis mittelgradige Zahnveränderungen Gruppe 2: Hochgradige Zahnveränderungen; Kauverhalten gestört	Nasssiebung; Maschenweite: 8;6;4;2;1;0,71 mm (Test Sieve, Fa. Retsch, Haan, Germany) kumulative Darstellung \geq 4mm (Summenprozent kurve)	geometrischer Mittelwert (Mean)	Gruppe 1: keine signifikanten Unterschiede (vor und nach Behandlung) in beiden Darstellungen Gruppe 2: Keine signifikanten Unterschiede (vor und nach Behandlung) in beiden Darstellungen geometrischer Mittelwert(Mean): Tendenz kleiner werdender Partikel; Gruppe 1 signifikant kleinere Partikel als Gruppe 2

3 Publikation

Das folgende Manuskript 'Effect of dental correction on voluntary hay intake, apparent digestibility of feed and faecal particle size in horse ' wurde am 13. September 2011 vom Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition (JAPAN) zur Veröffentlichung angenommen.

The following manuscript entitled 'Effect of dental correction on voluntary hay intake, apparent digestibility of feed and faecal particle size in horse ' has been accepted for publication in the Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition (JAPAN) on September 13th, 2011.

Submitted June 11th, 2011; Revised August 9th, 2011; Accepted September 13th, 2011.

Article first published Februar 2013; Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition (Berlin), 97 (1), 72-79.

Copyright © 2011, Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition, Wiley-Blackwell.

Effect of dental correction on voluntary hay intake, apparent digestibility of feed and faecal particle size in horse

Zwirglmaier¹, S., Remler², H.-P., Senckenberg², Fritz¹, J., E., Stelzer³, P., Kienzle¹, E.

¹ Chair of Animal Nutrition and Dietetics, Ludwig-Maximilians-University of Munich

² Haupt- und Landgestüt Schwaiganger, Ohlstadt

³ Tierarztpraxis und Zahnheilkunde Dr. Peter Stelzer, Berg

Key words: Horse, dental correction, digestibility, faecal particle size

Introduction

So far four major working groups have investigated the effect of dental correction on digestion in horses with contradicting results. Gatta et al. (1995) described a significant increase of digestibility, especially of crude fibre after dental correction in pregnant mares. They also reported a significant decrease of faecal particle size. By contrast Ralston et al. (2001) did not see a systematic effect of dental correction (smooth floating or correction of sharp points) on digestibility. They found, however, a relationship between apparent fibre and protein digestibility with the occlusional angle of the molar teeth with higher digestibilities in a certain range and lower digestibilities below and above of this range. Particle size was not investigated. Carmalt et al. (2004) compared the nutrient digestibility of three diets with different concentrates and hay as well as a hay diet in pregnant mares without and with dental corrections. They did not find an effect of correction of teeth on either digestibility or faecal particle size. Carmalt et al. (2008) did a post mortem study (grab sample and HCl insoluble ash as a marker for digestibility) on the effect of dental correction on digestibility and particle size and did not see any differences. Pagliosa et al. (2006) used cavalry horses on a hay concentrate diet and investigated digestibility. There was a significant increase of apparent digestibility of all nutrients after dental correction. At the present stage it is difficult to identify the reasons for the contradictory results. The degree of dental abnormalities may have varied between studies. Gatta et al. (1995) mentioned that the mares had obvious abnormalities in chewing before dental correction and they described considerably higher hay intake in their all hay group after dental correction which suggests severe discomfort during chewing before dental treatment. By contrast Ralston et al. (2001) and Carmalt et al. (2004, 2008) used horses with moderate abnormalities. They do, however, disagree on the method of measuring occlusional angle. Concentrates have a higher energy and dry matter digestibility than hay (Meyer and Coenen 2002). Consequently the ratio of hay to concentrate affects digestibility even in the same untreated horse: The higher the percentage of concentrates the higher the digestibility. Studies in which the ratio of hay to concentrate is not strictly controlled in treated and untreated horses or before and after treatment may therefore miss effects

of treatment, especially if the horses eat more hay after treatment. It is also questionable to calculate and compare means across rations with differing concentrate percentages. The methods of determination of digestibility such as several day digestion trial versus grab sample may also affect the outcome. Given the relatively high individual variation of digestibility in horses (Kienzle et al. 1994) before and after digestion studies are preferable to treated versus untreated group studies. Further studies are clearly needed. The present study was designed as a before and after study with a fixed ratio of concentrate to hay before and after treatment in the individual horse in digestion trials with total faecal collection for three days. In contrast to the study of Gatta et al. (1995) horses without obvious problems with chewing or decreased feed intake were selected.

Materials and methods

Study design

The study consisted of four trials, two before treatment and two after treatment. Before treatment horses were offered hay free choice in addition to their usual concentrates, and the amount of voluntary hay intake was measured for three days. This was followed by a three day adaptation period with fixed amounts of hay and the usual amount of concentrate (details see table 1). After the adaptation period a digestion trial (complete faeces collection for three days) with the ration from the adaptation period was carried out. Then dental correction was carried out. Immediately before, three, seven, ten, and 14 days after treatment faecal grab samples were taken for measuring particle size. Particle size was also determined in the faecal samples from the digestion trials. Twenty five days after treatment the horses were again offered hay free choice for three days in addition to their usual concentrates and voluntary feed intake was measured. Again, this was followed by a three day adaptation period with fixed amounts of hay and the usual concentrates, and then by a three day digestion trial. Hay from the same batch was fed throughout the experiment.

Horses

Adult German Warmblood horses in moderate work aged from 5 to 15 years, five mares and four geldings were used. They all had a Body Condition Score of 5 or 6 (on a scale from 1 - 9; according to Kienzle and Schramme (2004), a system based on the work of Hennecke et al. 1983 modified for Warmbloods). Body weight (BW) ranged from 594 - 717kg and withers height amounted to between 169 - 184cm. All animals were clinically healthy, and dewormed before the start of the experiment. Horses were kept in single loose boxes with shavings as bedding except during exercise. During exercise one person was present to pick up faeces in case of defaecation. The experiments were carried out in accordance to German Animal Welfare laws. The horses were chosen by a veterinary dentist (P. Stelzer). The criteria for inclusion were that they clearly needed a dental correction because of enamel points on molar and premolar teeth, and that the function of the molars and premolars was likely to be completely recovered by the

treatment. Additional dental findings included mild prognathia (3 horses), lesion of buccal or lingual mucosa (mild in 1 horse, moderate in 6, severe in 2 horses). In one case several milk teeth (incisivi 803, 503 and 603) and in another case a first premolar (105) had to be removed. One horse had a step mouth and another a moderate wave mouth, which could both be completely corrected. All horses were chewing without obvious dysfunction of their teeth before and after treatment.

Dental correction

Dental treatment was carried out by a veterinary dentist (P. Stelzer). The horses were sedated with a combination of two substances (Detomidinhydrochlorid (Detogesic®, Fort Dodge), Butorphanol (Turbogesic®, Fort Dodge)). After they calmed down an exact examination of the teeth was carried out. They were checked for swellings of the head or the lymph nodes of the head, bad breath or ocular or nasal discharge. None of these symptoms was detected. The correction was carried out with an electrical rasp with a rough and a fine diamond lined disc. In addition several hand rasps, bits and extraction forceps were used. Only sharp buccal or lingual points (fig.1), wave mouth and step teeth were smoothened. The chewing area was not systematically floated (fig. 2). Persistent milk teeth, or first premolars were extracted.

Feeding

A grass hay, first cut from one meadow was used throughout the study (table 2). Concentrates consisted of barley, oats and ground maize. In addition 100g of a mineral supplement was fed per day and horse. Except for the three days of measuring voluntary feed intake the horses were fed to maintain weight, and to ensure complete intake of roughage. Rations of individual horses are given in table 1. The concentrates were fed in a trough and the hay in hay-nets with large holes. Concentrates were fed half in the morning and half in the evening and hay was given 1/3 in the morning and 2/3 in the evening. Potential left-overs were weighed back every day.

Digestion trials

Feed intake was determined and faeces were collected quantitatively, weighed and aliquots were frozen and stored by – 20°C until analyses. Potential residues of bedding

were removed manually.

Chemical analyses

Feed and faeces were lyophilized and ground. Crude nutrients (dry matter [DM], crude ash, crude protein, crude fat) were analysed according to Weender analysis (Naumann and Bassler, 1997). Combustion heat (gross energy, GE) of food and faeces were determined by adiabatic bomb calorimetry (IKA-Calorimeter C4000, IKA-Analysentechnik Janke & Kunkel GmbH & Co., Staufen, Germany). For sieving wet faeces were thawed and about 10g of wet weight were dissolved in water for 12 - 16 hours before sieving with the sieving machine AS 200 digit (Retsch, Haan, Germany) for ten minutes under oscillation with a water flow of two litres per minute. The separation was achieved with nine sieves with mesh sizes of 63µm, 125µm, 250µm, 500µm, 1mm, 2mm, 4mm, 8mm and 16mm. The content of the sieves was dried at 103° Celsius and weighed. Total amount of dry matter was determined in another sample of the same faeces.

Calculations

Nitrogen-free extract (Nfe) was calculated as follows: $Nfe = \text{dry matter} - \text{crude ash} - \text{crude protein} - \text{crude fat} - \text{crude fibre}$ (all nutrients in % wet weight).

Apparent digestibility was calculated as follows: $\text{Apparent digestibility (\%)} = (\text{nutrient intake} - \text{faecal nutrient excretion}) / \text{nutrient intake} \times 100$.

Results of sieve analyses were calculated as sum percentages of the content of all sieves. In addition we checked for un-retained dry matter by subtracting the sum of the retained dry matter from the dry matter content of the sample from the same faeces analysed in parallel. Modulus of fineness (MOF) was calculated as described by Poppi et al. (1980). The dry matter on each sieve is expressed as % of total retained dry matter. The percentage of dry matter on the finest sieve is multiplied with one, on the next sieve with two, and so on. The results are summed up and divided by 100. A MOF of nine would describe a sample where all particles are retained on the biggest sieve, a MOF of one a sample where all particles are retained on the finest sieve. The weighted average is calculated the same way, except that in place of the number of the sieve the

mesh size is used for multiplication.

Statistical analysis

Mean and standard deviation were calculated. For comparison of two means, i.e. before and after we used paired t-test. A two way ANOVA was carried out to test for interactions if there were other factors than before and after such as individual horse or high and low percentage of concentrates in the ration. In that case means were compared by Holm-Sidak-test. A p-value <0.05 was considered significant. The Software was SigmastatTM 3.0 (SPSS, Chicago).

Results

During the first three days pre-test before treatment of teeth with ad libitum feeding of hay, hay intake varied between 11 and 22g DM/kg BW/d. The mean was 17 ± 3 g/kg BW/d. There was little variation in one and the same horse. The horse with the lowest intake ate between 11 and 13g DM/kg BW/d, the horse with the highest intake between 19 and 22g DM/kg BW/d. There was no relationship between amount of concentrates offered and amount of hay intake. Treatment of teeth did not have an effect on voluntary hay intake. During the second three days pre-test after treatment of teeth the hay intake was very similar (17 ± 4 ; 8 - 26g DM/kg BW/d) to the first pre-test, again with little variation in one and the same horse. The same horses were at the upper or lower end of the range, respectively.

Apparent digestibility of DM, energy, crude fibre and Nfe increased significantly after treatment (table 3). In seven out of the nine horses digestibility of these nutrients was improved. Figure 3 shows apparent digestibility of DM before and after treatment in the nine different horses.

Apparent digestibility of DM, energy, crude protein, crude fibre and Nfe was higher in horses eating more DM from concentrates than 3g/kg BW/d compared to horses eating less DM than 3g/kg BW/d from concentrates. A two-way ANOVA for the factors high or low concentrate intake and before and after treatment gave significant effects of concentrate intake for the digestibility of energy and all nutrients except crude ash. There were also significant effects of treatment on the digestibility of DM, energy and Nfe. There were no significant interactions. Figure 4 shows the effect of concentrate intake and treatment on apparent energy digestibility. Lower apparent digestibility was not related to certain types of dental findings such as wave mouth, prognathia or to the number of findings in the individual horse.

There was no systematic effect of dental treatment on faecal particle size (table 4). There were small but significant differences in MOF and weighted average between horses. These differences were not affected by treatment. A two-way ANOVA with horse and treatment as factors did not give any interactions between these factors. Significant effects were only demonstrated for the horses (fig. 5). The percentage of not retained particles was affected neither by horse nor by treatment. There was no difference between horses eating different amounts of concentrates. No residues of beddings were found in the faecal samples on either sieve.

Discussion

In the present investigation horses without obvious disorders of chewing and with an ideal to slightly overweight BCS of 5 to 6 (out of 9) were selected. The initial dental findings were only mild to moderate, and the differences in severity between horses were small. Voluntary hay intake was very high and did not differ before and after treatment in horses at moderate work or maintenance. This suggests the absence of severe discomfort while chewing. Therefore it is not surprising that there was no relationship between the degree of improvement of digestibility after treatment and the initial dental findings before treatment. The study shows that in a before and after treatment design with control of hay to concentrate ratio even the correction of moderate dental findings may increase apparent digestibility significantly. The importance of a before and after study design, and of the control of the ratio concentrate to hay can be demonstrated by using different statistics in the own study. A paired t-test before and after resulted in a significant difference. If two-way-ANOVA for the factors before and after treatment and high or low concentrate intake (i.e. below or above 3g DM/kg BW/d) was carried out the effect of treatment was also significant (fig. 4). If, however, a t-test for independent samples was carried out comparing before and after without considering the concentrate to hay ratio the difference was not significant. Thus calculating a mean digestibility over a variety of rations for treated and untreated groups (Carmalt et al. 2004) may miss small differences in digestibility between treated and untreated groups. The same is true if the ratio of concentrate to hay is not strictly kept the same through the experiment. Given the individual differences in voluntary intake of hay in the own study during ad libitum feeding and the effect of hay to concentrate ratio on apparent digestibility of nutrients a high individual variation of digestibility due to different individual hay to concentrate ratios in groups can be expected. This variation may obscure differences due to dental treatment. Even in horses without any dental problems there are considerable individual differences in apparent nutrient digestibility. Kienzle et al. (1994) demonstrated individual differences in activity of amylase which were related to differences in the small intestinal digestibility of certain types of starch. Heintzsch (1995) found higher preileal digestibility of concentrates in horses eating

slowly compared to hasty eaters. Therefore even if the diet is strictly controlled a before and after treatment design is highly important to detect small differences of dental treatment.

The effect of dental treatment on faecal particle size in the own study as well as in the literature is somewhat unexpected and contradictory. Gatta et al. (1995) saw a decrease of particle size after dental treatment. In all other studies (Carmalt 2004 2008, Nömaier 2009) and also in our study there was little or no effect. This can be explained because Gatta et al. (1995) presumably used horses with severe dental problems as suggested by a weight increase after treatment, whereas all other studies used horses without clinically obvious problems. It is more difficult to explain why in the present study digestibility was improved and faecal particle size was not affected. Faecal particle size is generally presumed to be representative for particle size after chewing in horses (Meyer et al. 1986) and ruminants (Mc Leod and Minson 1988, Perez-Barbiera and Gordon 1998) because the particle length is not considerably reduced during passage of the gastrointestinal tract. This may not be applicable for starch particles which are usually more or less round and which are digested or fermented to a considerable extent (Kienzle et al. 1992, Kienzle et al. 1997). In starch from unprocessed grains plant structures which represent barriers for amylase in the gastrointestinal tract may or may not be destroyed during chewing. Starch granules can be mechanically destroyed making them more susceptible to digestion by amylase. Even using different mills for grinding maize resulted in different small intestinal digestibility and different morphological appearance of starch (Kienzle et al. 1992, Kienzle et al. 1997). This could have direct effects on grain digestibility and indirect effects on roughage digestibility by interaction of starch and fibre fermentation in the hindgut. Thus effects of correction of mild dental abnormalities could have a bigger effect on particle structure of concentrates, especially of grains than of roughage after chewing. This hypothesis would explain why the effects of dental correction were even more marked and less variable in horses eating larger percentages of grain (whole oats, whole barley, ground maize) in the present study. In the study of Pagliosa et al. (2006)

on military horses neither the extent of dental alterations or treatment nor the rations of the horses are very clearly described. In working military horses it is likely that the percentage of concentrates is rather high. Effects of dental treatment on apparent digestibility of energy and nutrients was strong. This could be interpreted as an agreement with the above hypothesis on the differences of the effect of dental treatment on the digestibility of roughage and concentrates. Gatta et al. (1995) found an increase of faecal pH after correction of severe dental abnormalities in horses eating hay and concentrates (oats) but not in horses eating only hay. This could be interpreted as an indicator of a shift from postileal starch fermentation to prececal starch digestion after treatment.

Protein digestibility was not affected in the own study. In the study of Gatta et al. (1995) after dental treatment protein digestibility increased less than digestibility of other nutrients, even though in this study particle size decreased after dental treatment. In the experiment of Pagliosa et al. (2006) the digestibility of all nutrients increased after dental treatment, but again the increase was less marked than for protein than for the other nutrients. These findings suggest that the form of chemical binding of crude protein such as binding to cell wall polysaccharides determined as neutral detergent fibre is more limiting to protein digestion in horses than mechanical structures. This is in agreement with a new system for protein evaluation in horses (Zeyner et al. 2010).

In conclusion a before and after study design is important when effects of dental treatment on digestibility are investigated. Correction of mild dental abnormalities increases apparent nutrient digestibility. We hypothesize that the effect is stronger for whole or roughly ground grains than for roughage.

Summary

In nine adult Warmblood horses with mild to moderate dental findings (no signs of discomfort during chewing) voluntary hay intake before and after dental correction was examined. In a second experiment digestibility of feed and faecal particle size were determined (three days of total faecal collection) before and after dental correction. During both digestion trials including a three day adaptation period the amount of hay and concentrate (mixture of oats, barley, maize) was kept constant in each individual horse before and after dental correction. Voluntary hay intake in individual horses ranged from 11 and 22g DM/kg BW/d and did not differ before and after dental treatment. Apparent digestibility of DM, energy, crude fibre and Nfe increased significantly after dental correction (Energy digestibility before dental correction $46.8 \pm 7.4\%$, after dental correction $51.5 \pm 8.5\%$). Apparent digestibility of feed was higher in horses eating more concentrates, than in those eating less concentrates. Improvement of digestibility was more marked in horses eating larger amounts of grain. There was no relationship between severity or type of dental alterations and improvement of apparent feed digestibility. Dental correction had no effect on faecal particle size.

Acknowledgement

The study was funded in part by the Gesellschaft für Pferdemedizin e.V.

References

- Carmalt, J.L.; Townsend, H.G.G.; Janzen, E. D.;Cymbaluk, N. F.,2004: Effect of dental floating on weight gain, body condition score, feed digestibility and fecal particle size in pregnant mares. *Journal of American Veterinary Medical Association* 225(12), 1889-1893.
- Carmalt, J.L.; Allen, A., 2008: The relationship between cheek tooth occlusal morphology, apparent digestibility, and ingesta particle size reduction in horses. *Journal of American Veterinary Medical Association* 233(3), 452-455.
- Gatta, D.; Krusic, L.; Casini, L.; Colombani, B.,1995: Influence of corrected teeth on digestibility of two types of diets in pregnant mares. In: *Proceedings 14th Symposium of Equine Nutrition and Physiology*, Ontario, Canada, 326-331.
- Heintzsch, A. ,1995: Effekte einer Enzymmischung (α -Amylase, Xyplanase, β -Glucanase, Pectinase) als Futteradditiv auf die praeileale Verdaulichkeit stärkereicher Rationen beim Pferd. *Diss. med. vet., Tierärztliche Hochschule, Hannover*.
- Henneke, D.R.; Potter, G.D.; Kreider, J.L.; Yeates, B.F., 1983: Relationship between condition score, physical measurements and body fat percentage in mares. *Equine Veterinary Journal* 15(4), 371-372.
- Kienzle, E.; Radicke, S.; Wilke, S.; Landes, E.; Meyer, H., 1992: Praeileale Stärkeverdauung in Abhängigkeit von Stärkeart und -zubereitung. 1.Europäische Konferenz über die Ernährung des Pferdes, Hannover; *Pferdeheilkunde, Sonderausgabe* September 1992, 103-106.
- Kienzle, E.; Radicke, S.; Landes, E.; Kleffken, D.; Illenseer, M.; Meyer, H.,1994: Activity of amylase in the gastrointestinal tract of the horse. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 72, 234-241.
- Kienzle, E.; Pohlenz, J.; Radicke, S.,1998: Microscopy of starch digestion in the horse. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition* 80, 213-216.
- Kienzle, E.; Schramme, S.,2004: Beurteilung des Ernährungszustandes mittels Body Condition Scores und Gewichtsschätzung bei adulten Warmblutpferden.

Pferdeheilkunde 20(6), 517-524.

McLeod, M.N.; Minson, D. J.,1988: Large Particle Breakdown by Cattle eating Ryegrass and Alfalfa. *Journal of Animal Science* 66, 992-999.

Meyer, H.; Coenen, M.,2002: *Pferdefütterung*, 4. erweiterte und aktualisierte Auflage. Parey Buchverlag, Berlin.

Meyer, H.; Coenen, M.; Tebe, H.; Probst, D.,1986: Untersuchungen über Futterzerkleinerung und Freisetzung von Futterinhaltsstoffen im Kopfdarm des Pferdes. *Zeitschrift für Tierphysiologie, Tierernährung und Futtermittelkunde* 56, 266-275.

Naumann, C.; Bassler, R., 1976: *Handbuch der Landwirtschaftlichen Versuchs- und Untersuchungsmethodik (Methodenbuch)*. Band III: Die chemische Untersuchung von Futtermitteln, 3. Auflage inkl. 1.-7. Ergänzung. VDLUFA- Verlag, Darmstadt.

Nömaier, D., 2009: Messung der Partikelgröße in Pferdekot vor und nach Zahnbehandlung. Vet. Dipl-Arbeit, Veterinäruniversität Wien

Pagliosa, G.M.; Alves, G.E.S.; Faleiros, R.R.; Saliba, E.O.S.; Sampaio, I.B.M.; Gomes, T.L.S.; Gobesso, A.A.O.; Fantini, P.,2006: Influence of excessive enamel points on nutrients digestibility in diets of horses. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinaria e Zootecnia* 58(1), 94-98.

Perez-Barbiera, F.J.; Gordon I.J.,1998: Factors affecting food comminution during chewing in ruminants: a review. *Biological Journal of the Linnean Society* 63, 233-256.

Poppi, D.P.; Norton, B.W.; Minson, D.J.; Hendricksen, R.E.,1980: The validity of the critical size theory for particles leaving the rumen. *Journal of Agricultural Science* 94, 275-280.

Ralston, S.L.; Foster, D.L.; Divers, T.; Hintz, H.F.,2001: Effect of dental correction on feed digestibility in horses. *Equine Veterinary Journal* 33(4), 390-393.

Zeyner, A.; Kirchhof, S.; Susenbeth, A.; Südekum, K. H.; Kienzle, E., 2010: Protein evaluation of horse feed: a novel concept. In Ellis, A. D.; Longland, A. C.; Coenen,

M.;Miraglia, N. (ed.)The impact of nutrition on the health and welfare of horses. 5th European Workshop on Equine Nutrition, Cirencester, UK, 19-22 September, 2010 EAAP Publications No. 128, 40-42.

Table 1: Feed allowance of the horses in g dry matter (DM)/kg body weight (BW)/d during adaptation period and digestions trials

Horse	BW kg	Concentrate intake g DM/kg BW/d				Hay intake g DM/kg BW/d
		Oats	Barley	Maize	Total concentrate intake ¹⁾	
1	710	1.00	1.00	-	2.00	11.21
2	592	0.95	1.12	2.03	4.10	13.45
3	672	1.68	1.42	-	3.10	11.85
4	715	0.50	1.37	2.16	4.03	11.13
5	593	1.00	1.00	-	2.00	13.43
6	616	1.25	1.12	-	2.37	12.92
7	624	-	0.62	-	0.62	12.76
8	600	1.00	1.25	-	2.25	13.26
9	594	1.75	1.94	-	3.70	13.4

1) plus 100g of mineral mixture per horse and d

Table 2: Feed composition

	Hay	Oats	Barley	Maize	Mineral mixture*
DM %	88.8	88.8	88.4	90.1	93.0
	In DM				
Gross energy MJ/kg	19.8	19.8	18.8	17.8	11.1
Crude protein %	8.2	9.1	11.4	6.7	7.4
Crude fiber %	33.3	13.1	5.2	2.4	1.2
Crude fat %	1.0	4.8	1.5	2.8	1.8
Crude ash %	5.2	2.7	2.6	1.5	38.2
Nfe %	52.3	70.3	79.3	86.6	51,4

*in g/kg: Ca 60, P 20, Na 40, Mg 15

in IU/kg: Vit. A 400000, Vit. D3 40000

in mg/kg: Vit. E 3700, Vit. B1 80; B2 200, B6 100., B12 0.8, nicotinic acid 900, ca pantothenate 400, folic acid 50, biotin 4,2, Vit. K3 100, cholin chloride 1500, Fe 800, Mn 1600, Zn 2400, Se 20, Cu 550, J 10, Co 10

(Raiffeisen Kraftfutterwerke Süd GmbH, Würzburg, Germany)

Table 3: Apparent digestibility of energy and crude nutrients (%) before and after dental treatment

	Before treatment	After treatment
DM	45.3±7.7	50.2±9.0*
Energy	46.8±7.4	51.5±8.5*
Crude protein	58.5±7.0	55.9±6.5
Crude fibre	21.6±13.9	31.3±13.5*
Crude ash	40.2±4.3	42.0±5.5
Nfe	57.6±6.0	60.9±7.3*

*significant difference. paired t-test before and after dental treatment (p<0.05)

Table 4: Faecal particle size before and after dental treatment

	Before treatment	3 days after treatment	4 weeks after treatment
MOF¹⁾	3.7±0.2	3.8±0.1	3.7±0.2
Weighted average	0.7±0.1	0.8±0.1	0.80±0.1
% of un-retained particles	15.5±7.4	16.5±7.4	17.2±6.9

1) Modulus of fineness

Figure 1: Photography of premolars and molars enamel points in the right maxilla before treatment (horse 5).



Figure 2: Photography of premolars and molars in the right maxilla after dental correction of the same horse as in fig.1. Only buccal enamel points were smoothened, chewing area was not floated.



Figure 3: Apparent digestibility of dry matter shown for the individual horse before and after treatment

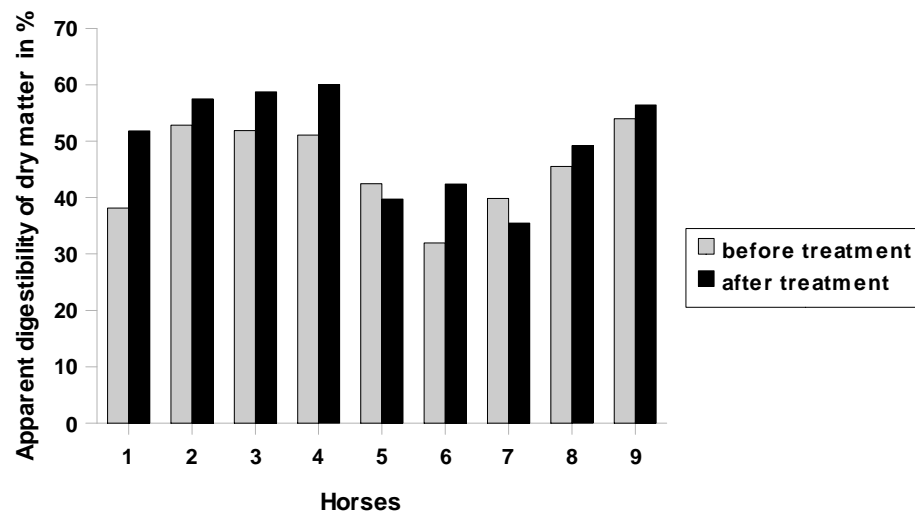


Figure 4: Effect of concentrate intake and dental treatment on apparent digestibility of energy

Low concentrate = concentrate intake < 3g DM/kg BW/d

High concentrate = concentrate intake > 3g DM/kg BW/d

Two-way-ANOVA, Holm-Sidak-test, significant effect of both treatment and concentrate intake, no significant interaction ($p < 0.05$), pooled standard deviation 4.4

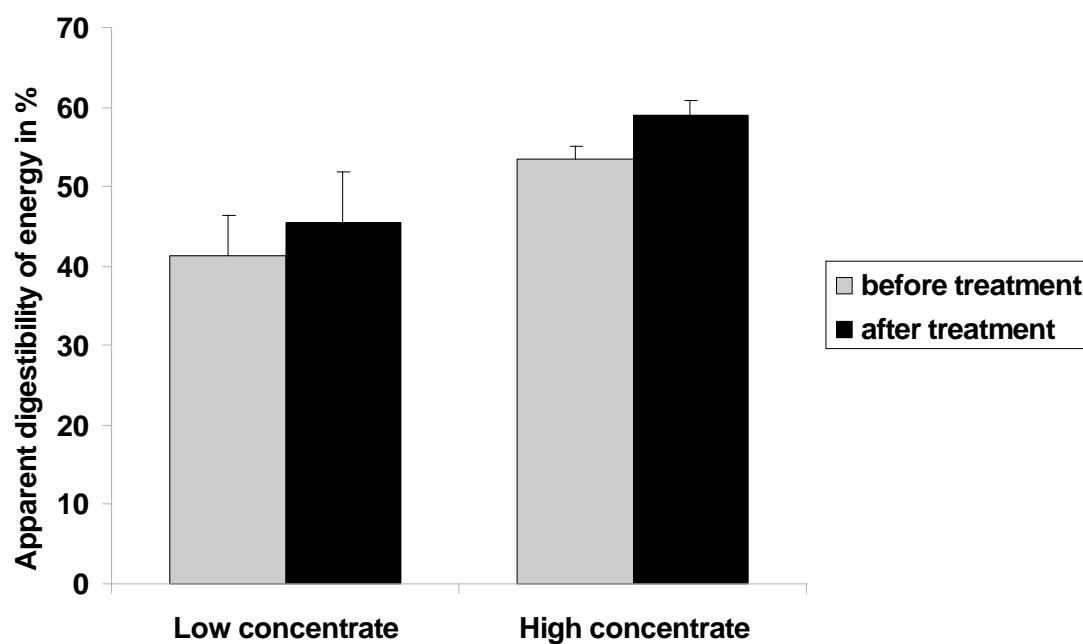


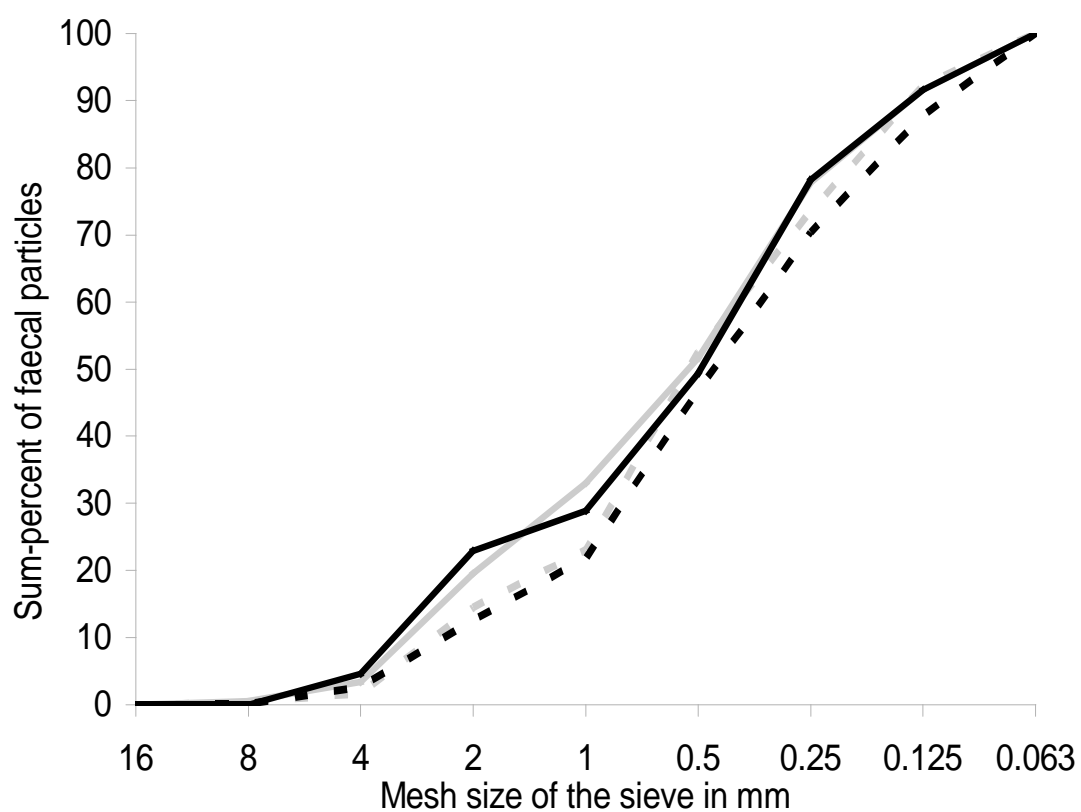
Figure 5: Faecal partical size shown for two horses in a sum-percentage diagram.

_____ horse number 3 before dental treatment

----- horse number 6 before dental treatment

_____ horse number 3 after dental treatment

----- horse number 6 after dental treatment



4 Diskussion

4.1 Diskussion der Methoden

4.1.1 Allgemeines

Vorwegzunehmen ist, dass es sich in der gesamten Arbeit um die Bestimmung der Gesamtverdaulichkeit der Ration handelt. Keine der nachfolgend genannten Methoden ist geeignet, die Verdaulichkeit in bestimmten Abschnitten des Verdauungstrakts zu differenzieren. Um die partiellen Verdaulichkeiten zu ermitteln, müssten fistulierte Probanden eingesetzt werden. Dabei könnten eventuell Unterschiede festgestellt werden, die bei der Gesamtverdaulichkeit nicht nachweisbar sind. Allerdings sind Versuche mit Fisteltechnik sehr invasiv, so dass sich bei der eigenen Thematik die Frage nach der Verhältnismäßigkeit stellt.

4.1.2 Bestimmung der Verdaulichkeit in der eigenen Studie

Der vorliegenden Studie liegt ein Versuchsplan zugrunde, der von den bisherigen Arbeiten abweicht. Es wurde auf ein Vorher-Nachher-Design geachtet, das heißt jedes Pferd wurde einmal vor der Zahnbehandlung dem Verdauungsversuch unterzogen und einmal danach. Individuelle Schwankungen in der Verdaulichkeit, wie sie laut UDEN und VAN SOEST (1981); KIENZLE et al. (1994) und HEINTZSCH (1995) besonders bei Equiden vorkommen, können in dieser Versuchsanordnung Veränderungen nicht verschleiern. Eine weitere Besonderheit dieser Arbeit ist die strikte Konstanthaltung der Futterration, insbesondere des Verhältnisses von Kraftfutter zu Raufutter. Ein konstantes Verhältnis von Kraftfutter zu Raufutter konnte über den ganzen Versuchszeitraum eingehalten werden. Dies ist von erheblicher Bedeutung, da Raufutter wesentlich schlechtere Verdaulichkeiten hat als Kraftfutter (MEYER und COENEN, 2002) und so kleine Veränderungen der Verdaulichkeit nach der Zahnbehandlung möglicherweise nicht erkannt werden, wenn danach mehr Raufutter gefressen wird. Im Extremfall könnte dann sogar die scheinbare Gesamtverdaulichkeit der Ration sinken. Die

Kraftfutterzuteilung war dem Bedarf der einzelnen Tiere individuell angepasst. Die Heumenge betrug, für alle Pferde identisch, neun Kilogramm pro Tag. Die Daten zur Verdaulichkeitsbestimmung wurden mittels quantitativer Kollektionsmethode ermittelt. Laut VAN KEULEN et al. (1977) und MIRAGLIA et al. (1999) ist dies die Methode der Wahl. Als Dauer eines Versuchsdurchgangs wurden drei Tage gewählt, was der Forderung von MEYER und COENEN (2002) nachkommt, laut derer ein Verdauungsversuch mindestens eine Darmpassage (35 - 50 Stunden) betragen muss. Auch die Adaptionperiode vor jedem Versuchsdurchgang, in der die Ration (Heu und Kraftfutter) abgewogen wurde, war drei Tage lang. Vor der Adaptionphase wurde bereits eine gleichartige Ration gefüttert. Durch das dreitägige Abwiegen des Futters vor dem Verdauungsversuch wurde gewährleistet, dass bereits zu Beginn des Verdauungsversuchs Kot gesammelt werden konnte, der repräsentativ für die Ration war. Eine ausreichende Zeitspanne zur Adaption wird laut BRUNSGAARD et al. (1995) auch gefordert, um eine Regulation der Verdauungsenzyme und die Anpassung der mikrobiellen Flora im Dickdarm an das jeweilige Futter zu ermöglichen.

4.1.3 Bestimmung der Verdaulichkeit in bisherigen Studien

Die bisherigen Studien, die sich mit der Thematik des Einflusses von Zahnbehandlungen auf die Futterverdaulichkeit bei Pferden beschäftigten, erzielten ähnliche Resultate wie diese Studie, bis auf die Arbeiten von CARMALT et al. (2004, 2008). GATTA et al. (1995) schloss auch individuelle Unterschiede mittels Vorher-Nachher-Design weitgehend aus, allerdings war in dieser Studie die Heumenge nicht konstant. Die Tiere konnten Heu ad libitum fressen. Dennoch konnte diese Arbeit eine Verbesserung in der Rationsverdaulichkeit feststellen. Auch RALSTON et al. (2001) konnte geringe Verbesserungen erkennen, mittels einem ähnlichen Versuchsaufbau wie in der Studie von GATTA et al. (1995). Sie arbeitete ebenfalls mit Vorher-Nachher Vergleichen und einer festgelegten Ration, sowohl bei Heu als auch bei Kraftfutter. Genauere Angaben zu den Inhaltsstoffen der Ration fehlen aber. Ähnlich wie GATTA et al. (1995), arbeitete auch PAGLIOSA et al. (2006) mit einem Versuchskonzept Vorher-Nachher und einer teilweise kontrollierten Ration. Er

fütterte Kraftfutter limitiert und konstant und Heu ad libitum. Diese Arbeiten weisen alle gewisse Unklarheiten in Bezug auf die Rationsgestaltung auf. In der eigenen Studie wurde darauf geachtet diese zu eliminieren (vgl. 4.1.2) und genaue Angaben zur Ration zu geben. Bis auf PAGLIOSA et al. (2006) führten alle oben genannten Autoren die Kollektionsmethode durch. Diese Kollektionsmethode ist, wie bereits oben erwähnt, laut VAN KEULEN et al. (1977) und MIRAGLIA et al. (1999) die Methode der Wahl. PAGLIOSA et al. (2006) arbeitete mit Chromoxid als Marker, wobei er über einen längeren Zeitraum Kot sammelte. Die Dauer der Durchführung ist laut VAN KEULEN et al. (1977), OSLAGE et al. (1987), RADICKE (1990) und BERGERO et al. (2004) eine Voraussetzung dafür, dass Kollektionsmethode und Markermethode vergleichbare Ergebnisse liefern. Dies scheint bei PAGLIOSA et al. (2006) gegeben.

Erhebliche Kritikpunkte in Bezug auf die Methodik zur Bestimmung der Verdaulichkeit weisen die Studien von CARMALT et al. (2004, 2008) auf. CARMALT et al. (2004) bildete Behandlungsgruppen und verglich diese mit unbehandelten Kontrollgruppen. Beim Pferd bestehen erhebliche individuelle Unterschiede in der Verdaulichkeit (UDEN und VAN SOEST, 1981), die geeignet sind, kleinere Differenzen der Verdaulichkeit zu verschleiern. Ein weiterer Kritikpunkt an dieser Arbeit ist, dass vier verschiedene Diäten (Heu/ Kraftfutter oder nur Heu) verwendet wurden, bei denen Heu jeweils ad libitum gefüttert wurde. Die verwendeten Rationen, mit und ohne Kraftfutter, lassen Unterschiede in der Gesamtverdaulichkeit von bis zu zehn Prozent erwarten (MEYER und COENEN, 2002). Solche Unterschiede wurden in der eigenen Studie bereits in Abhängigkeit von der Kraftfuttermenge beobachtet. Derartige Differenzen wurden von CARMALT et al. (2004) jedoch nicht beschrieben, weshalb die Autoren die Ergebnisse über die gesamten vier Rationen mittelten. Auffallend ist in diesem Zusammenhang auch die geringe Standardabweichung (Werte zwischen 2,3% und 4,2%). Dies zusammen spricht für einen insgesamt nivellierenden Effekt der verwendeten Methoden. Auch die Sammlung der Proben mittels Stichprobenentnahme aus den verschiedenen Abschnitten des Gastrointestinaltrakt bei euthanasierten Tieren in der späteren Studie von CARMALT et al. (2008), steht im Widerspruch zur Forderung nach

mehrtägiger Probengewinnung (MEYER und COENEN, 2002). Die Aussagekraft aller bisherigen Arbeiten dieser Gruppe zur Verdaulichkeit, ist somit als fraglich einzustufen. Sie werden aus diesem Grund nicht weiter in die Diskussion der Ergebnisse aufgenommen.

4.1.4 Bestimmung der Kotpartikelgröße in der eigenen Studie und in anderen Studien

Ähnlich wie in bisherigen Arbeiten (CARMALT et al. (2004, 2006, 2008) und (NÖMAIER, 2009), konnten in der vorliegenden Studie keine Veränderungen der Kotpartikelgröße nach Zahnbehandlung festgestellt werden. Lediglich GATTA et al. (1995) konnte eine Steigerung der kleinsten Partikel nach Behandlung ermitteln. Diese Erhöhung war nur bei der Heu/Hafer Ration signifikant, nicht jedoch bei reiner Heufütterung. Eine mögliche Erklärung, dass nur in dieser Studie ein Effekt festgestellt wurde, könnte sein, dass hier Pferde mit offensichtlichen Schwierigkeiten beim Kauen verwendet wurden, was wiederum schwerwiegendere Zahnprobleme vermuten lässt. Diese Vermutung wird bekräftigt durch die Tatsache, dass die Tiere nach der Behandlung an Gewicht zunahmen (GATTA et al. (1995)). NÖMAIER (2009) fand in beiden Gruppen vor und nach Behandlung keine signifikanten Unterschiede, allerdings konnte sie bei der Gruppe mit schwerwiegenden Zahnproblemen signifikant größere Kotpartikel ermitteln, als in der Gruppe mit milden oder moderaten Zahnproblemen. Dieser Unterschied war auch nach der Behandlung noch signifikant. Diese Feststellung lässt vermuten, dass sich zum Einen nur sehr gravierende Zahnbefunde auf die Kotpartikelgröße im Messbereich der Siebanalyse auswirken, zum Anderen, dass bei diesen Pferde auch nach der Korrektur der dentalen Probleme physiologisches Kauverhalten noch nicht wieder möglich ist. Dies könnte dadurch bedingt sein, dass durch schwere Zahnpathologie bereits Schäden an Kiefer, Kiefergelenk oder anderen, am Kauvorgang beteiligten Strukturen, aufgetreten sind.

Die Bestimmung der Kotpartikelgröße wurde in der eigenen Studie, wie auch bei GATTA et al. (1995) und NÖMAIER (2009), mittels Nasssiebung mit unterschiedlichen Siebgrößen ermittelt (vgl. Tab.7). CARMALT et al. (2004, 2006, 2008) griff auf die

Trockensiebung zurück. Bei dieser Methode wird der getrocknete Kot mittels Gummibällen zerkleinert. Hierbei können die Partikel laut dem Autor weiter zerkleinert werden (CARMALT et al. (2004)) und so kleine Effekte der Zahnbehandlung auf die Partikelgröße, möglicherweise verdeckt werden. Dies wäre auch eine Erklärung für die, im Vergleich zu anderen Studien, deutlich kleineren Kotpartikel in diesen Arbeiten. Da nur bei GATTA et al. (1995) Veränderungen in Bezug auf die Partikelgröße nach Zahnbehandlung erkannt werden konnten, stellt sich an diesem Punkt die Frage, ob der Messbereich der Siebanalyse, die durch Zahnbehandlung eventuell auftretenden Veränderungen erfassen kann. Insbesondere weil sich die Verdaulichkeit der Rationen schon nach einer Korrektur moderater pathologischer Zahnbefunde veränderte. Es drängt sich die Vermutung auf, dass der Bereich in dem Änderungen auf Partikelebene auftreten, so nicht erfasst werden kann, d.h. mit der kleinsten Maschenweite nicht aufgefangen wird. Eventuell müssten die kleinsten Partikel mittels optischen Verfahren (Mikroskop) nach DUNBAR und BOSE (1991) und NØRGAARD et al. (2004) analysiert werden, um Unterschiede zu erkennen. Hier wäre es denkbar, dass die kleinen Partikelfractionen besser erfasst werden können, oder aber strukturelle Veränderungen im mikroskopischen Bereich sichtbar werden.

Es ist wenig wahrscheinlich, dass die geringen Effekte der Zahnbehandlung auf die Kotpartikelgröße, durch die verschiedenen Darstellungsmethoden der Ergebnisse der Siebfraktionierung verschleiert werden. CARMALT et al. (2004, 2006, 2008) und NÖMAIER (2009) arbeiteten mit dem geometrischen Mittelwert (Mean), GATTA et al. (1995) gab prozentuale Anteile bestimmter Partikelfractionen an. Die eigene Arbeit griff auf mehrere Darstellungsmethoden und Berechnungen zurück (nicht retinierter Anteil, Summenprozentkurve, MOF, WA und geometrischer Mittelwert (Mean)), konnte aber nirgends Veränderungen sichtbar machen.

Übereinstimmend kann gesagt werden, dass ein Effekt der Zahnbehandlung auf die Partikelgröße im Kot, mit der oben genannten Methodik, bei Pferden mit offensichtlichen Kauproblemen (als Hinweis auf schwere Zahnpathologie) (GATTA et al. (1995)) und bei Tieren mit bekannt schweren Zahnproblemen (NÖMAIER, 2009), nicht jedoch bei milden oder moderaten Problemen, erkannt

werden kann.

4.2 Diskussion der Ergebnisse

Bei allen Studien, deren Versuchsanordnung und Methodik geeignet waren, um Unterschiede in der Verdaulichkeit von einigen Prozent absolut zu erfassen, gab es übereinstimmend eine mehr oder weniger deutliche Verbesserung der Verdaulichkeit. Ein Zusammenhang zwischen Verdaulichkeit und pathologischem Zahnbefund kann daher als bestätigt angesehen werden. Der Rückgang der Verdaulichkeit bzw. die Verbesserung nach der Zahnkorrektur, korrelierte innerhalb der einzelnen Studien (GATTA et al. (1995), RALSTON et al. (2001) und PAGLIOSA et al. (2006)) und auch in der eigenen Arbeit nicht mit der Schwere der Zahnbefunde. Tiere mit Zahnbefunden, welche als besonders erheblich eingestuft wurden, zeigten keine besonders auffallende Verbesserung der Verdaulichkeit. Soweit ein Vergleich der Erheblichkeit der Zahnbefunde zwischen den Arbeiten überhaupt möglich ist, ist anzunehmen, dass die Probanden von GATTA et al. (1995) größere Beeinträchtigungen der Kaufunktion aufwiesen, als die der übrigen Studien (inklusive der Eigenen), da die von GATTA et al. (1995) verwendeten Pferde vor der Behandlung offensichtliche Kaufprobleme hatten und nach der Zahnbehandlung an Gewicht zunahmen. In dieser Studie wurde die deutlichste Verbesserung der Gesamtverdaulichkeit nach einer Zahnbehandlung festgestellt. Die Differenzen in der Erheblichkeit der Zahnbefunde zwischen den Pferden innerhalb der anderen Studien könnten zu gering gewesen sein, um eine Zuordnung zur Verbesserung der Verdaulichkeit zu ermöglichen, zumal die Rationen der einzelnen Probanden nicht identisch waren.

Die eigene Studie konnte signifikante Verbesserungen in der Gesamtverdaulichkeit der TS, Energie, Rohfaser und NfE zeigen, obwohl nur moderate Zahnveränderungen vorlagen. Die Steigerung war besonders hoch bei Pferden die viel Kraftfutter (>3g/kg Körpergewicht) erhielten. Beispielsweise wies ein Pferd (3,4kg Kraftfutter/Tag) Steigerungen der Energieverdaulichkeit von 52% auf 61% nach Zahnbehandlung auf, vergleichsweise ein Pferd mit 1,8kg Kraftfutter/Tag Steigerungen der Energieverdaulichkeit von 47% auf 50%. Das lässt vermuten, dass der Effekt der

Zahnbehandlung vor allem bei Kraftfutterfütterung die Verdaulichkeit erhöht, weniger bei Raufutter.

Auch GATTA et al. (1995) konnte bei der Heu/Hafer Diät, im Vergleich zur reinen Heudiät, den deutlichsten Effekt auf die Verdaulichkeit erkennen.

Bei PAGLIOSA et al. (2006) ist anzunehmen, dass arbeitende Militärpferde höhere Anteile an Kraftfutter in der Ration haben. Die deutliche Verbesserung der scheinbaren Verdaulichkeit bei PAGLIOSA et al. (2006) kann daher ebenfalls in diese Richtung interpretiert werden.

Auch die Beobachtungen während des 2. Weltkriegs, dass bei zahnbehandelten Pferden täglich umgerechnet 600g Hafer pro Tag und Pferd gegenüber unbehandelten Pferden eingespart werden könnten (Berliner und Münchener Tierärztliche Wochenschrift, 1944), was in etwa Verbesserungen der scheinbaren Verdaulichkeit von vier bis fünf Prozent entspricht, passt zu diesen Ergebnissen.

Das RALSTON et al. (2001) in Abhängigkeit der Zahnbehandlung nur bedingt Veränderungen der Verdaulichkeit feststellen konnte (Reduzierung der Faserverdaulichkeit nur bei Winklung der Okklusionsfläche außerhalb des Rahmens, vgl. 2.4.1), könnte ebenfalls zum Teil auf geringe Kraftfuttermengen in der Ration zurückgeführt werden. Auch die als geringgradig einzustufenden Zahnpathologien dieser Arbeit könnten dazu beigetragen haben.

Die Vermutung, dass vor allem die Verdaulichkeit von Getreide durch pathologische Zahnbefunde beeinträchtigt wird, kann möglicherweise mit der Beobachtung zur Kotpartikelgröße in Einklang gebracht werden.

Eine plausible Erklärung hierzu könnte sein, dass sich nicht die Partikel des Raufutters verändern, sondern die Strukturen der Getreidekörner aus dem Kraftfutter effektiver zerstört werden, wenn Pferde ohne Zahnprobleme das Futter richtig kauen können. Dadurch könnte die Stärke besser für die Amylase zugänglich sein und somit leichter verdaut werden. Vermutlich sind die Effekte vergleichbar mit dem Effekt der Zubereitung des Kraftfutters (KIENZLE et al. (1992, 1997)) auf die präzäkale Stärkeverdaulichkeit. Dies würde auch erklären, warum die Veränderungen bei

GATTA et al. (1995) nur bei der Heu/Hafer Ration signifikant waren und auch in der eigenen Studie die größten Verbesserungen in der Verdaulichkeit bei Pferden erzielt wurden, die viel Kraftfutter in Form von Getreide erhielten. Da anzunehmen ist, dass in diesem Fall Kraftfutter besser präzäkal verdaut werden kann. An dieser Stelle sind noch weitere Untersuchungen nötig, die zum Einen andere Partikelspektren erfassen können, zum Anderen auch den Kaudruck berücksichtigen. Da der Druck mit dem die Nahrung zermahlen wird, bei zahngesunden Tieren höher ist (POND et al. (1984)), ist es möglich, dass die Inhaltsstoffe besser ausgequetscht werden und die Getreidestrukturen stärker zerstört werden (POND et al. (1984); ACOSTA et al. (2007)).

Die Hypothese, dass sich die Verbesserung der Verdaulichkeit, vor allem durch die höhere präzäkale Verdaulichkeit des Getreides in der Ration ergibt, wird durch die Ergebnisse von GATTA et al. (1995) zum pH Wert im Kot indirekt gestützt. Bei der Bestimmung des pH Wertes aus dem frischen Kot erkannte der Autor, dass der Wert bei der Heu/Hafer Ration nach der Behandlung anstieg (pH (vor Behandlung): 6,045; pH (nach Behandlung): 6,317). Dies könnte darauf hindeuten, dass der Hafer vor der Zahnkorrektur vermehrt postileal, d.h im Dickdarm abgebaut wurde. Durch die mikrobielle Fermentation entstehen dort kurzkettige Fettsäuren (MEYER und COENEN, 2002), die im Kot mit ausgeschieden werden. Nach der Korrektur konnten die körpereigenen Enzyme den Hafer präzäkal verdauen und es entstanden weniger Fettsäuren.

Ein Effekt auf Rohprotein konnte in der vorliegenden Untersuchung nicht gezeigt werden und auch in den anderen Studien (GATTA et al. (1995); PAGLIOSA et al. (2006)) waren hier die Steigerungen nur gering. Daraus kann als Hypothese abgeleitet werden, dass für die Verdaulichkeit des Proteins nicht die mechanische Zerkleinerung der Nahrung entscheidend ist, sondern die chemische Bindung an Zellwandbestandteile und somit geringe Verdaulichkeit (ZEYNER et al. (2010)).

4.3 Anmerkung zu der Bestimmung des Kaubildes

Die Abhängigkeit der Kaubewegung von der Zahngesundheit erkannte bereits

LEUE (1941). Bei pathologischen Zahnbefunden bekam der Autor veränderte Kaubilder. Auffällig in den oben genannten Arbeiten, die sich mit der RCM beschäftigten, ist der Widerspruch von CARMALT et al. (2006) (Erhöhung der RCM nach Zahnbehandlung) und SIMHOFER et al. (2011) (Reduzierung der RCM nach Zahnbehandlung). Eine mögliche Erklärung für dies, könnten Unterschiede in der Methodik zur Bestimmung sein. CARMALT et al. (2006) maß die Beweglichkeit der Mandibel bei maximaler Flexion des Atlantookzipitalgelenks und wenn der Unterkiefer parallel zum Boden war. Auf diese Weise erhielt er Werte, die den maximal möglichen Bewegungsumfang wiedergeben, nicht die tatsächlich durchgeführte Bewegung. SIMHOFER et al. (2011) bestimmte die RCM anhand von Markern am Pferdekopf, deren Positionen innerhalb eines Kauzykluses ausgewertet wurden. Diese Arbeit bestimmte so die tatsächlich durchgeführte Bewegung beim Kauen.

4.4 Maximale Raufutteraufnahme

Zusätzlich zur Bestimmung der Verdaulichkeit der Futterration und der Kotpartikelgröße in Abhängigkeit einer Zahnbehandlung, wurde in der eigenen Studie die maximale Raufutteraufnahme (Heu) der Tiere ermittelt. Dazu wurde in einem Vorversuch vor der Adaptionsphase des Verdauungsversuchs eine dreitägige ad libitum Fütterung mit Heu durchgeführt. Dies wurde vor und nach der Zahnbehandlung durchgeführt. Die maximale Aufnahme betrug zwischen 11 und 22g TS pro kg KGW/Tag (Mittelwert: 17 ± 3 g TS pro kg KGW/Tag). Dieser Wert entspricht zwischen 8 und 16 Kilogramm Heu am Tag. Auffallend war die starke individuelle Differenz zwischen den Tieren. Die Aufnahme der einzelnen Pferde war über die drei Tage relativ konstant. Ein Zusammenhang zur zugeteilten Kraftfuttermenge konnte nicht ermittelt werden. Ein Einfluss der Zahnbehandlung war nicht festzustellen. Die aufgenommenen Mengen nach Zahnbehandlung waren 8 – 26g TS pro kg KGW/Tag (Mittelwert: 17 ± 4 g TS pro kg KGW/Tag). Pferde die im ersten Durchgang hohe Raufutteraufnahmen hatten, wiesen diese auch im zweiten Durchgang auf. Die aufgenommene Heumenge in Kilogramm ursprünglicher Substanz hat entspricht Energieaufnahmen übers Heu zwischen 127MJ und 285MJ DE pro Pferd. Zum Vergleich, der Erhaltungsbedarf eines

600 Kilogramm schweren Pferdes, mit vergleichbar geringer Leistung, wie die der Versuchspferde, beträgt 73MJ DE (Berechnungsgrundlage: $0,6\text{MJ/kg LM}^{0,75}$). Die laut ZEYNER et al. (2011) geforderte Menge Heu für Pferde von 1,5kg Heu/100kg Lebendmasse (LM) pro Tag, wurde weitgehend eingehalten. Nur ein Proband hatte eine etwas geringere Aufnahme von 1,4kg/100kg LM (vor Behandlung) und 1,2kg/100kg LM (nach Behandlung). Die übrigen erzielten Werte zwischen 1,6kg/100kg LM und 2,3kg/100kg LM (vor Behandlung) und 1,6kg/100kg LM und 2,6kg/100kg LM (nach Behandlung) [Mittelwert (vor Behandlung): $1,9 \pm 0,3\text{kg/100kg LM}$; Mittelwert (nach Behandlung): $2,0 \pm 0,4\text{kg/100kg LM}$]. Die beachtliche Heuaufnahme soll an diesem Punkt nochmal besonders hervorgehoben werden.

4.5 Schlussfolgerung

Die Ergebnisse können dahingehend interpretiert werden, dass bei Pferden die überwiegend Raufutter bekommen, Zahnprobleme sehr lange kompensiert werden können. Bei Tieren, die vermehrt Kraftfutter in Form von intaktem oder gequetschtem Getreide bekommen, sind bei mangelhaftem Zahnbefund wesentlich gravierendere Folgen zu erwarten. Die Verdaulichkeit des Getreides ist vermutlich nicht nur insgesamt, sondern auch präzäkal beeinträchtigt. Dadurch steigt das Risiko der Kohlenhydratfehlgärung im Dickdarm und damit auch die Gefahr von Koliken, wie sie laut CARMALT (2007) als Folge schlechter Zahngesundheit gelistet werden. Mit diesem Hintergrund, sind regelmäßige Zahnkontrolle und gegebenenfalls Zahnbehandlung bei Sport- und Arbeitspferde mit hohem Getreideanteil in der Ration unabdingbar. Die Pferde können bei pathologischen Zahnbefund schwerwiegende Probleme bekommen. Unter anderem besteht ein erhöhtes Kolikrisiko, wegen der Fehlgärung im Dickdarm, aber es kann auch zu Gewichtsverlust wegen unzureichender Futterverwertung kommen. Bei Freizeitpferden, die überwiegend Raufutter und wenig Kraftfutter in der Ration aufweisen, sind regelmäßige Zahnkontrollen, vor allem für die Prophylaxe schwerer dentalen Abnormalitäten (wie Treppen- oder Wellengebissen), als wichtig einzustufen.

Zu erwähnen ist, dass sich die Situation wiederum anders darstellt, bei Pferden die

Kraftfutter in Form von hitzebehandelten oder stark zerkleinertem Getreide erhalten. Hier scheint, durch den Einfluss der Zubereitung auf die Verdaulichkeit des Getreides, der Effekt des Kauens bei pathologischem Zahnbefund nur noch eine untergeordnete Rolle zu spielen. Dadurch sinkt wiederum das Kolikrisiko und negative Folgen für den Ernährungszustand sind als geringer anzusehen.

5 Zusammenfassung

Einfluss routinemäßiger Zahnbehandlungen bei Pferden auf maximale Raufutteraufnahme, scheinbare Futterverdaulichkeit und Kotpartikelgröße

In der vorliegenden Arbeit wurde der Effekt einer Zahnbehandlung auf die scheinbare Gesamtverdaulichkeit der Ration bei neun adulten Warmblutpferden (Alter 5 bis 15 Jahre) mit moderater Zahnpathologie bestimmt. Die Zahnbefunde umfassten Exsuperantien an den Prämolaren und Molaren und daraus resultierende Schleimhautläsionen, gering ausgeprägtes Treppen- oder Wellengebiss, persistierende Milchzähne und milden Überbiss. Die Probanden zeigten keine offensichtlichen Probleme bei der Futteraufnahme und waren klinisch gesund. Außerdem wurde die Partikelgröße vor und nach Behandlung verglichen und die maximale Raufutteraufnahme ermittelt.

Die scheinbare Verdaulichkeit (sV) wurde mittels zwei Verdauungsversuchen (vor und nach Behandlung) bestimmt. Die Kotpartikelgröße wurde mittels Nasssiebung gemessen. Ein Durchgang bestand aus drei Tagen Adaptation und drei Tagen Kollektion. In einem Vorversuch wurde jeweils eine dreitägige ad libitum Fütterung von Raufutter durchgeführt. Der zweite Durchgang fand 25 Tage nach der Zahnbehandlung statt.

Im Gegensatz zu bisherigen Studien wurde in dem vorliegenden Versuchskonzept darauf geachtet, dass das Raufutter-Kraftfutter-Verhältniss über beide Versuchsphasen konstant war. So konnte verhindert werden, dass Pferde eventuell nach der Zahnkorrektur mehr Heu aufnahmen und somit die Verdaulichkeit der Ration sinkt. Außerdem wurde ein Vorher-Nachher Design gewählt, um eine Verschleierung der Effekte durch individuelle Unterschiede auszuschließen.

Ergebnisse:

Nach der Zahnbehandlung verbesserte sich die scheinbare Verdaulichkeit der Trockensubstanz (TS), Energie, Rohfaser und N-freien Extraktstoffe (NfE) signifikant. Sieben der neun Tiere zeigten nach der Behandlung höhere Verdaulichkeiten dieser

Nährstoffe.

Tabelle 8: Scheinbare Verdaulichkeit (%) der Trockensubstanz, Energie und der Rohnährstoffe (Mittelwert \pm Standardabweichung) vor und nach Zahnbehandlung

	<i>Vor Behandlung</i>	<i>Nach Behandlung</i>
<i>TS</i>	45,7 \pm 7,7	50,6 \pm 9,0
<i>Energie</i>	46,8 \pm 7,4	51,5 \pm 8,5
<i>Rohfaser</i>	21,6 \pm 13,4	31,3 \pm 13,5
<i>N-freie Extraktstoffe</i>	57,6 \pm 6,0	60,9 \pm 7,3

Die Verbesserung war besonders deutlich bei Pferden, die mehr Trockensubstanz über Kraftfutter (>3g/kg Körpergewicht (KGW)/Tag) aufnahmen. Ein Zusammenhang der Verbesserung mit bestimmten Zahnproblemen konnte nicht ermittelt werden. Die scheinbare Verdaulichkeit des Rohprotein wurde durch die Zahnbehandlung nicht beeinflusst.

Veränderungen in der Größe der Kotpartikel vor und nach der Zahnbehandlung konnten in dieser Studie nicht erfasst werden. Die Kotpartikelgrößen zeigten sich abhängig vom Individuum.

Die ad libitum Raufutteraufnahme vor und nach Zahnbehandlung zeigt keine signifikanten Unterschiede. Die Aufnahme ist individuell unterschiedlich zwischen 11 und 22g TS/kg KGW/d (Mittelwert: 17 \pm 3g TS/kg KGW/d) vor Behandlung und 8 - 26g TS/kg KGW/d (Mittelwert: 17 \pm 4g TS/kg KGW/d) nach Behandlung. Über die drei Tage, vor und nach Behandlung, waren die Aufnahmen der einzelnen Tiere ähnlich. Ein Zusammenhang zur angebotenen Kraftfuttermenge und der ad libitum Heuaufnahme wurde nicht beobachtet.

6 Summary

Effect of dental correction on voluntary hay intake, apparent digestibility of feed and faecal particle size in horse

In the present study we investigated the effect of dental corrections on apparent nutrient digestibility in nine adult warmblood horses (aged 5 to 15 years). The horses had moderate abnormalities, but no obvious discomfort while chewing and were clinically healthy. The dental findings ranged from sharp enamel points on premolar and molar teeth and resulting lesions of mucosa, to moderate stepmouth or wavemouth, to persistent milk teeth and mild prognathia. Additionally faecal particle size and the maximum roughage intake, before and after dental correction, were determined.

Two digestion trials (before and after treatment) were carried out. Each with three day adaptation and three day total faeces collection. In a pre-trial, a period of three day ad libitum feeding of hay, was attached. The second trial took place 25 days after dental treatment. Faecal particles were examined with wet sieving.

In contrast to several previous studies this investigation was carried out in a before and after study design with a strictly controlled ratio of forage to concentrates. Horses were prevented eating more hay after dental treatment. Hay shows lower digestibility than concentrates, thus digestibility of the ration could decrease.

Results:

Apparent digestibility of dry matter (DM), energy, crude fiber and N-free extract (NfE) increased significantly after dental treatment. Seven out of nine horses showed an improvement in digestibility of these nutrients after dental correction.

Table 9: Apparent digestibility (%) of dry matter, energy and crude nutrients (mean \pm standard deviation) before and after treatment

	Before treatment	After treatment
DM	45,7 \pm 7,7	50,6 \pm 9,0
Energy	46,8 \pm 7,4	51,5 \pm 8,5
Crude fiber	21,6 \pm 13,4	31,3 \pm 13,5
NfE	57,6 \pm 6,0	60,9 \pm 7,3

Improvement was higher in horses eating more concentrates ($>3\text{g/kg}$ body weight (BW)/day), than in those eating less concentrates. Correlation to certain types of dental abnormalities were not seen. Apparent digestibility of crude protein was not affected by dental treatment.

Differences in fecal particle size in connection with dental treatment could not be detected. Fecal particle size depended on the individual horse.

Ad libitum roughage intake did not differ before and after dental correction. It was rather high, between 11 and 22g DM/kg BW/day (mean: $17 \pm 3\text{g DM/kg BW/day}$) before treatment and 8 - 26g DM/kg BW/day (mean: $17 \pm 4\text{g DM/kg BW/day}$) after treatment. The intake on three different days was similar within horses but differed between horses. Correlation between concentrate allowance and ad libitum hay intake could not be seen.

7 Literaturverzeichnis

Acosta, A.; Boudon, A.; Peyraud, J.L., 2007: Species and variety of herbage affects release of cell content during ingesta mastication in dairy cows fed indoors. *Animal Feed Science and Technology*, 132, 28-48.

Allen, M.L.; Baker, G.J.; Freeman, D.E.; Holmes, K.R.; Maretta, S.M.; Scoggins, R.D.; Constable, P., 2004: In vitro study of heat production during power reduction of equine mandibular teeth. *Journal of American Veterinary Medical Association*, 224 (7), 1128-1132.

Anen, C., 2008: Evaluierung des Einflusses von Zahnbehandlungen und Zahnextraktionen auf die Kaubewegung von Pferden mittels eines optoelektronischen Messsystems. Dissertation, Veterinärmedizinische Universität, Wien.

Anonymus, 1944: Berliner und Münchener Tierärztliche Wochenschrift und Wiener Tierärztliche Monatsschrift, Nr.37/38.

Axelsson, J., 1941: Das Futterverdaunungsvermögen des Pferdes. *Biedermann's Zentralblatt (B) Tierernährung*, 13, 399-413.

Baker, G.J., 1968: Some Aspects of Equine Dental Disease. In: General meeting of the British Equine Veterinary Association, London 1968, 105-110.

Baker, G.J., 2002: Equine Temporomandibular Joints (TMJ): Morphology, Function, and Clinical Disease. In *Proceedings of the Annual Convention of the American Association of Equine Practitioners*, 48, 442-447.

Baker, G.J.; Easley, J., (Hrsg.) 2007: *Zahnheilkunde in der Pferdepraxis*. 2. Auflage, Elsevier GmbH, München.

Bergero, D.; Miraglia, N.; Abba, C.; Polidori, M., 2004: Apparent digestibility of Mediterranean forages determined by total collection of faeces and acid-insoluble ash as internal marker. *Livestock Production Science*, 85, 235-238.

Björnhag, G.; Sperber, I.; Holtenius, K., 1984: A separation mechanism in the large intestine of equines. *Canadian Journal of Animal Science*, 64, 84-90.

Boerhaave, H., 1752: *Physiologie*. Verlag Renger, Halle und Magdeburg.

Bonin, S.J.; Clayton, H.M.; Lanovaz, J.L.; Johnson, T.J., 2006: Kinematics of the equine temporomandibular joint. *American Journal of Veterinary Research*, 67 (3), 423-428.

Bonin, S.J.; Clayton, H.M.; Lanovaz, J.L.; Johnson, T.J., 2007: Comparison of mandibular motion in horse chewing hay and pellets. *Equine Veterinary Journal*, 39 (3), 258-262.

Brigham, E.J.; Duncanson, G.R., 2000: Case study of 100 horses presented to an equine dental technician in the UK. *Equine Veterinary Education*, 12, 92-107.

- Brunsgaard, G.; Bach Knudsen, K.E.; Equm, B.O, 1995: The influence of the period of adaptation on the digestibility of diets containing different types of indigestible polysaccharides in rats. *British Journal of Nutrition*, 74(6), 833-848.
- Carmalt, J.L., 2007: Evidence-Based Equine Dentistry: Preventive Medicine. *Veterinary Clinics of Equine Practice*, 23, 519-524.
- Carmalt, J.L.; Allen, A., 2008: The relationship between cheek tooth occlusal morphology, apparent digestibility, and ingesta particle size reduction in horse. *Journal of American Veterinary Medical Association*, 233 (3), 452-455.
- Carmalt, J.L.; Allen, A.L, 2006: Effect of rostrocaudal mobility of the mandible on feed digestibility and fecal particle size in horse. *Journal of American Veterinary Medical Association*, 229 (8), 1275-1277.
- Carmalt, J.L.; Cymbaluk, N.F.; Townsend, H-G.G, 2005: Effect of premolar and molar occlusal angle on feed digestibility, water balance, and fecal particle size in horses. *Journal of American Veterinary Medical Association*, 227 (1), 110-113.
- Carmalt, J.L.; Rach, D., 2003: Equine Dentistry - Moving into 21st Century. *Large Animal Veterinary Rounds*, 3 (5).
- Carmalt, J.L.; Townsend, H-G.G.; Allen, A.L., 2003: Effect of dental floating on the rostrocaudal mobility of the mandible in horse. *Journal of American Veterinary Medical Association*, 223 (5), 666-669.
- Carmalt, J.L.; Townsend, H-G.G.; Janzen, E.D.; Cymbaluk, N.F., 2004: Effect of dental floating on weight gain, body condition score, feed digestibility, and fecal particle size in pregnant mares. *Journal of American Veterinary Medical Association*, 225 (12), 1889-1893.
- Clauss, M.; Hummel, J., 2005: The digestive performance of mammalian herbivores: why big may not be that much better. *Mammal Review*, 35(2), 175-187.
- Clauss, M.; Lechner-Doll, M., 2001: Difference in selection reticulo-ruminal particle retention as a key factor in ruminant diversification. *Oecologia*, 129(3), 321-327.
- Clauss, M.; Lechner-Doll, M.; Streich, W.J., 2002: Fecal particle size distribution in captive wild ruminants: an approach to the browser/grazer-dichotomy from the other end. *Oecologia*, 131(3), 343-349.
- Clauss, M.; Loehlein, W.; Kienzle, E.; Wiesner, H., 2003: Studies on feed digestibility in captive Asian elephants (*Elephas maximus*). *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 87, 160-173.
- Collinson, M., 1994: Food Processings and Digestibility in Horse (*Equus caballus*). Dissertation, Monash University.
- Dixon, P.M., 2000: Zahn Anatomie. In: Baker, G.J.; Easley, J., (Hrsg.) 2007: Zahnheilkunde in der Pferdepraxis. 27-52, 2. Auflage, Elsevier GmbH, München.
- Dixon, P.M., 2002: The gross, histological, and ultrastructural anatomy of equine teeth and their relationship to disease. In *Proceedings of the 49th Annual Convention of the*

- American Association of Equine Practitioners, 48, 421-437.
- Dixon, P.M.; Dacre, I., 2005: A review of equine dental disorders. *The Veterinary Journal* 169, 165-187.
- Dixon, P.M.; Tremaine, W.H.; Pickels, K.; Kuhns, L.; Hawe, C.; McCann, J.; McGorum, B.; Railton, D.I.; Brammer, S., 1999a: Equine dental disease part 1: a long-term study of 400 cases: disorders of incisor, canine and first premolar teeth. *Equine Veterinary Journal*, 31, 369-377.
- Dixon, P.M.; Tremaine, W.H.; Pickels, K.; Kuhns, L.; Hawe, C.; McCann, J.; McGorum, B.; Railton, D.I.; Brammer, S., 1999b: Equine dental disease part 2: a long-term study of 400 cases: disorders of development and eruption and variations in position of the cheek teeth. *Equine Veterinary Journal*, 31, 519-528.
- Dunbar, R.I.M.; Bose, U., 1991: Adaption to grass-eating in gelada baboons. *Primates*, 32, 1-7.
- Easley, J., 1996: Equine dental development and anatomy. In *Proceedings of the 42th Annual Meeting of the American Association of Equine Practitioners*, 1996, 42, 1-10.
- Easley, J., 1999: Grundlagen der Kieferorthopädie. In: Baker, G.J.; Easley, J., (Hrsg.) 2007: *Zahnheilkunde in der Pferdepraxis*. 27-52, 2. Auflage, Elsevier GmbH, München.
- Engelke, E.; Schnapper, A., 2003: Zum Bau der Pferdezähne. *Pferde Spiegel* 2/2003.
- Floyd, M.R., 1991: The modified Triadan system: nomenclature for veterinary dentistry. *Journal of Veterinary Dentistry*, 8, 18-19.
- Fritz, J., 2007: Allometrie der Kotpartikelgröße von pflanzenfressenden Säugern, Reptilien und Vögeln. Dissertation, Tierärztliche Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität, München.
- Fujikara, T.; Oura, R.; Sekine, J., 1989: Comparative morphological studies on digestive physiology of herbivores. I. Digestibility and particle distribution of digesta and faeces of domestic and feral animals. *Journal of Faculty Agriculture, Tottori University*, 25, 87-93.
- Gatta, D.; Krusic, L.; Casini, L.; Colombani, B., 1995: Influence of corrected teeth on digestibility of two types of diets in pregnant mares. In: *Proceedings 14th Symposium of Equine Nutrition and Physiology*, Ontario, Canada, 326-331.
- Gatta, D.; Krusic, L.; Schramel, P.; Pinola, S.; Colombani, B., 1997: Influence of corrected teeth on digestibility of macro-, and microminerals in pregnant mares. In: *Trace Elements in Man and Animals- 9: Proceeding of the Ninth International Symposium on Trace Elements in Man and Animals*, NRC Research Press, Ottawa, Canada, 328-328.
- Gernet, E., 1984: Wet sieving technique for estimating particle size in herbivore digesta. In: Kennedy, P.M. (Hrsg.) *Techniques in partikel size analysis of feed and digesta in ruminants*. Canadian Society of Animal Science, Edmonton, Canada, 167.
- Gernet, E.; Martin- Rosset, W.; Chenost, M. 1984: Compared size and structure of plant

particles in the horse and the sheep feces. Canadian Journal of Animal Science, 64 (Suppl.), 345-346.

Heintzsch, A., 1995: Effekte einer Enzymmischung (α -Amylase, Xyplanase, β -Glucanase, Pectinase) als Futteradditiv auf die praeileale Verdaulichkeit stärkereicher Rationen beim Pferd. Dissertation, Tierärztliche Hochschule, Hannover.

Hofmeister, V., 1865: Verdaut das Pferd Pflanzenfaser? Landwirtschaftliche Versuchsstation, 7, 413-431.

Illius, A.W.; Gordon, I.J., 1992: Modelling the nutritional ecology of ungulate herbivores: evolution of body size and competitive interactions. Oecologia, 89, 428-434.

Kamphues, J.; Kienzle, E.; Simon, O.; Coenen, M.; Pallauf, J.; Zentek, J. (Hrsg.) 2009: Supplemente zur Vorlesung und Übung in der Tierernährung. 10., überarbeitete Auflage, M.& H. Schaper, Hanover.

Kienzle, E.; Pohlenz, J.; Radicke, S., 1998: Microscopy of starch digestion in the horse. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition, 80, 213-216.

Kienzle, E.; Radicke, S.; Landes, E.; Kleffken, D.; Illenseer, M.; Meyer, H., 1994: Activity of amylase in the gastrointestinal tract of the horse. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition, 72, 234-241.

Kienzle, E.; Radicke, S.; Wilke, S.; Landes, E.; Meyer, H., 1992: Praeileale Stärkeverdaulichkeit in Abhängigkeit von Stärkeart und -zubereitung. 1. Europäische Konferenz über die Ernährung des Pferdes, 1992, Hannover. Pferdeheilkunde, Sonderausgabe, 103-106.

Kirkland, K.D.; Marett, M.S.; Inoue, O.J.; Baker, G.J., 1994: Survey of equine dental disease and associated oral pathology. In Proceedings of the Annual Meeting of the American Association of Equine Practitioners, 40, 119-120.

Kleffner, H., 2008: Literaturstudie über die Verdaulichkeit von Energie und Nährstoffen bei wilden carnivoren und omnivoren Säugetieren als Grundlage für Energiewertschätzung im Futter. Dissertation, Tierärztliche Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität, München.

Klingeberg-Kraus, S., 2001: Beiträge zur Ernährungsforschung bei Pferden bis 1959. (Verdaulichkeitsphysiologie, Energie- und Eiweißbewertung). Dissertation, Tierärztliche Hochschule, Hannover.

König, H.E.; Liebich H-G., 2005: Anatomie der Haussäugetiere. 3. überarbeitete und erweiterte Auflage, Schattauer GmbH, Stuttgart.

Lane, J.G., 1994: A review of dental disorders of the horse, their treatment and possible fresh approaches to management. Equine Veterinary Education, 6, 13-21.

Leue, G., (1941): Beziehungen zwischen Zahnanomalien und Verdauungsstörungen beim Pferd unter Heranziehung von Kaubildern. Dissertation, Tierärztliche Hochschule Hannover.

- Mc Leod, M.N.; Minson, D.J., 1988: Large particle breakdown by cattle eating reygras and alfalfa. *Journal of Animal Science*, 66, 992-999.
- Meyer, H.; Coenen, M., 2002: *Pferdefütterung*. 4. erweiterte und aktualisierte Auflage, Parey, Berlin.
- Meyer, H.; Coenen, M.; Teleb, H.; Probst, D., 1986: Untersuchungen über Futterzerkleinerung und Freisetzung von Futterinhaltsstoffen im Kopfdarm des Pferdes. *Zeitschrift für Tierphysiologie, Tierernährung und Futtermittelkunde*, 56, 266-275.
- Meyer, H.; Radicke, S.; Kienzle, E.; Wilke, S.; Kleffken, D.; Illenseer, M., 1995: Investigations on Preileal Digestion of Starch from Grain, Potato and Manioc in Horses. *Journal of Veterinary Medicine Series A*, 42, 371-381.
- Miraglia, N.; Bergero, D.; Bassano, B.; Tarantola, M.; Ladetto, G., 1999: Studies of apparent digestibility in horse and the use of internal markers. *Livestock Production Science*, 60, 21-25.
- Newton, C.L.; Fontenot, J.P.; Tucker, R.E.; Polan, C.E., 1972: Effect of high dietary potassium intake on the metabolism of magnesium by sheep. *Journal of Animal Science*, 35, 440-445.
- Nickel, R.; Schummer, A.; Seiferle, E., 1996: *Lehrbuch der Anatomie der Haussäugetiere*. Band I, 6. Auflage, Parey, Berlin.
- Niederl, M., 2007: Kinematische Analyse der Kaubewegung von Pferden vor und nach Routinezahnbehandlung. Dissertation, Veterinärmedizinische Universität, Wien.
- Nömaier, D., 2009: Messung der Partikelgröße in Pferdekot vor und nach Zahnbehandlung. Vet. Dipl.-Arbeit, Veterinäruniversität Wien.
- Nørgaard, P.; Huste, D.S.; Ranvin, H., 2004: Effect of supplementation with whole wheat or whole oat grains on the dimensions of faeces particles from lambs. *Journal of Animal Feed Science*, 13, 175-178.
- Okamoto, M., 1997: Comparison of Particle Size in the feces of various herbivores. *Journal of Rakuno Gakuin University*, 22(1), 151-153.
- Oslage, H.J.; Schulz, E.; Paulsen, I.; Drochner, W., 1987: Zum intestinalen Abbau pflanzlicher Gerüstsubstanzen beim Schwein und den methodischen Problemen seiner Untersuchung. *Landbauforschung Völkenrode*, 2, 80-85.
- Pagliosa, G.M.; Alves, G.E.S.; Faleiros, R.R.; Saliba, E.O.S.; Sampaio, I.B.M.; Gomes, T.L.S.; Gobesso, A.A.O.; Fantini, P., 2006: Influence of excessive enamel points on nutrients digestibility in diets of horses. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 58(1), 94-98.
- Parra, R., 1978: Comparison of foregut and hindgut fermentation in herbivores. In: Montgomery, G.G. (Hrsg.) *The ecology of arboreal folivores*. Smithsonian Institution Press. Washington D.C., 205-230.
- Perez-Barbiera, F.J.; Gordon I.J., 1998: Factors affecting food comminution during chewing in ruminants: a review. *Biological Journal of the Linnean Society*, 63, 233-256.

- Pond, K.R.; Ellis, W.C.; Akin, D.C., 1984: Ingestive mastication and fragmentation of forage. *Journal of Animal Science*, 58, 1567-1579.
- Poppi, D.P.; Norton, B.W.; Minson, D.J.; Hendricksen, R.E., 1980: The validity of the critical size theory for particles leaving the rumen. *Journal of Agricultural Science*, 94, 275-280.
- Potter, G.D.; Arnold, F.F.; Householder, D.D.; Hansen, D.H.; Brown, K.M., 1992: Digestion of Starch in the Small or Large Intestine of the Equine. 1.Europäische Konferenz über die Ernährung des Pferdes, 1992, Hannover. *Pferdeheilkunde*, Sonderausgabe, 107-111.
- Radicke, S., 1990: Untersuchungen zur Verdauung von Mais- und Haferstärke beim Pferd. Dissertation, Tierärztliche Hochschule Hannover.
- Ralston, S.L.; Foster, D.L.; Divers, T.; Hintz, H.F., 2001: Effect of dental correction on feed digestibility in horses. *Equine Veterinary Journal*, 33(4), 390-393.
- Schiele, K.A.L.M., 2008: Einfluss reduzierter Futterzuteilung zweier verschiedener Heuqualitäten auf Passagedauer und Verdaulichkeit bei Ponies. Dissertation, Tierärztliche Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität, München.
- Scrutchfield, W.L., Schumacher, J., Martin, M.T., 1999: Correction of abnormalities of the cheek teeth. In *Proceedings of American Association of Equine Practitioners*, 42, 11-21.
- Simhofer, H.; Niederl, M.; Anen, C.; Rijkenhuizen, A.; Peham, C., 2011: Kinematic analysis of equine masticatory movements: Comparison before and after routine dental treatment. *The Veterinary Journal*, 190, 49-54.
- Sponheimer, M.; Robinson, T.; Roeder, B.; Hammer, J.; Ayliffe, L.; Pasey, B.; Ceiling, T.; Dearing, D.; Ehleringer, J., 2003: Digestion and passage rates of grass hay by llamas, alpacas, goats, rabbits, and horses. *Small Ruminant Research*, 48, 149-154.
- Tremaine, H., 1997: Dental care in horse. In *Practice Journal of Veterinary Postgraduate Clinical Study*, 19, 186-199.
- Uden, P.; Van Soest, P.J., 1981: Comparative digestion of timothy (*Phleum pratense*) fibre by ruminants, equines and rabbits. *British Journal of Nutrition*, 47, 267-272.
- Uden, P.; van Soest, P.J., 1982a: The determination of digesta particle size in some herbivores. *Animal Feed Science and Technology*, 7, 35-44.
- Uden, P.; van Soest, P.J., 1982b: Comparative digestion of timothy (*Phleum pratense*) fibre by ruminants, equines and rabbits. *British Journal of Nutrition*, 47, 267-272.
- Van Keulen, J.; Young, B.A., 1977: Evaluation of Acid-Insoluble Ash as a Natural Marker in Ruminant Digestibility Studies. *Journal of Animal Science*, 44, 282-287.
- Vervuert, I.; Brüssow, N.; Bochnia, M.; Cuddeford, D.; Coenen, M., 2012: Electromyographic evaluation of masseter muscle activity in horse fed (i) different types of roughage and (ii) maize after different hay allocation. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, 10, 1-6.

Von Engelhardt, W. (2000): Vergleichende Aspekte der Vormagen- und Dickdarmverdauung. In: Von Engelhardt, W; Breves, G. (Hrsg.) Physiologie der Haussäugetiere. Enke, Hippokrates Verlag GmbH, Stuttgart, 402-405.

Wickström, E., 2010: Effect of plant maturity at harvest of haylage on digestibility and fecal particle size in horse fed forage dominated diets. Swedish University of Agricultural Science, Uppsala.

Zach, L.; Cohen, G., 1965: Pulp response to externally applied heat. Oral Surgery, 19, 515-530.

Zeyner, A.; Kienzle, E.; Coenen, M, 2011: Artgerechte Pferdefütterung. In Brade W., Distl, O., Sieme, H. Zeyner, A. Pferdezucht, -haltung und -fütterung - Empfehlungen für die Praxis Landbauforschung Völkenrode, VTI 2011, Sonderheft 353.

Zeyner, A.; Kirchhof, S.; Susenbeth, A.; Südekum, K. H.; Kienzle, E., 2010: Protein evaluation of horse feed: a novel concept. In Ellis, A. D.; Longland, A. C.; Coenen, M.; Miraglia, N. (Hrsg): The impact of nutrition on the health and welfare of horses. 5th European Workshop on Equine Nutrition, Cirencester, UK, 19-22 September, 2010 EAAP Publications No. 128, 40-42.

8 Danksagung

Als erstes bedanke ich mich herzlichst bei Frau Prof. Dr. Ellen Kienzle für die intensive und zuverlässige Betreuung und jederzeit hilfsbereite Unterstützung bei der Anfertigung dieser Arbeit.

Genauso möchte ich mich bei Herrn Dr. Peter Stelzer bedanken. Für die Idee zu dieser Dissertation, die Durchführung der Zahnbehandlung und die Mitbeschaffung der Mittel, die zu dieser Arbeit nötig waren. Auch als fachliche Unterstützung stand er stets zur Verfügung. Danke auch für die Möglichkeit an einer Fortbildungsveranstaltung, zu diesem Thema teilzunehmen.

Ein herzliches Danke gilt besonders dem Haupt- und Landgestüt Schwaiganger, Ohlstadt – insbesondere Herrn Dr. Eberhard Senckenberg und Herrn Dr. Hans-Peter Remler, die die Stallungen und Probanden für diesen Versuch zur Verfügung stellten. In diesem Zug möchte ich auch Herrn Ludwig Rummelsberger für die terminliche Koordinierung und der Bereitstellung der Wohnmöglichkeit am Gestüt danken.

Bedanken möchte ich mich bei Frau Dr. Julia Fritz für die Einführung in die Technik der Siebfraktionierung und die Unterstützung bei der Auswertung der ermittelten Daten.

Ein besonderer Dank gilt auch an das gesamte Team vom OWF - insbesondere Gabi Reder, für die Lagerung meiner umfangreichen Proben und die Hilfe bei der Vorbereitung der Proben zur Analytik. Dem Team in Oberschleißheim – vor allem Christian Overdiek, danke ich für die tatkräftige Unterstützung bei der Analytik der Proben.

Ein Danke auch an meine Mitdoktoranden für die gute Zeit während der Laborarbeiten.

Mein Dank geht auch an die Gesellschaft für Pferdemedizin e.V., welche diese Arbeit finanziell unterstützte.

Ein Dankeschön geht auch an meinen Chef Dr. Thomas Hügel, der mir sehr flexible Arbeitszeiten ermöglichte, was vor allem in der Schlussphase bei der Anfertigung der Dissertation, sehr hilfreich war.

Besonders Danken möchte ich meinen Eltern (Mama und Papa) die mir das Studium ermöglichten und mich bei der Erstellung der Dissertation unterstützen. Ebenso meinen Geschwistern (Kilian und Veronika) und meinem Freund Dominik, die mir jederzeit mit Rat und Tat zur Seite standen. Danke für die Hilfe während des praktischen Teils der Arbeit, Danke für die Motivation zwischendurch und Danke für das fleißige Korrekturlesen.